

ADAMS & WILKS

ATTORNEYS AND COUNSELORS AT LAW

50 BROADWAY

31st FLOOR

NEW YORK, NEW YORK 10004

BRUCE L. ADAMS
VAN C. WILKS.

JOHN R. BENEFIEL.

PAUL R. HOFFMAN

TAKESHI NISHIDA

FRANCO S. DE LIGUORI

• NOT ADMITTED IN NEW YORK
• REGISTERED PATENT AGENT

RIGGS T. STEWART
(1924-1993)

TELEPHONE
(212) 809-3700

FACSIMILE
(212) 809-3704

JUNE 10, 2005



COMMISSIONER FOR PATENTS
Washington, DC 20231

Re: Patent Application of Norihiro DEJIMA et al.

Serial No. 10/718,116

Filing Date: November 20, 2003

Examiner: Derek L. Dupuis

Group Art Unit: 2883

Docket No. S004-5155

S I R:

The above-identified application was filed claiming the right of priority based on the following foreign application(s).

1. Japanese Patent Appln. No. 2003-133011 filed May 12, 2003
2. Japanese Patent Appln. No. 2002-349856 filed December 2, 2002
3. Japanese Patent Appln. No. filed
4. Japanese Patent Appln. No. filed
5. Japanese Patent Appln. No. filed
6. Japanese Patent Appln. No. filed
7. Japanese Patent Appln. No. filed
8. Japanese Patent Appln. No. filed
9. Japanese Patent Appln. No. filed
10. Japanese Patent Appln. No. filed
11. Japanese Patent Appln. No. filed

Certified copy(s) are annexed hereto and it is requested that these document(s) be placed in the file and made of record.

MAILING CERTIFICATE

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first-class mail in an envelope addressed to: COMMISSIONER OF PATENTS & TRADEMARKS, Washington, DC 20231, on the date indicated below.

Respectfully submitted,

ADAMS & WILKS
Attorneys for Applicant(s)

DEBRA BUONINCONTI

Name

Debra Buoninconti

Signature

JUNE 10, 2005

Date

BLA:db
Enclosures

By:

Bruce L. Adams
Bruce L. Adams
Reg. No. 25,386

4) PART B - FEE(S) TRANSMITTAL
PAGE 2

ADDITIONAL ATTACHMENTS

TRANSMITTAL LETTER (WITH MAILING CERTIFICATE) and
CERTIFIED COPIES OF JAPANESE PATENT APPLN. NOS.
2002-349856 AND 2003-133011



日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 5 月 1 2 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 1 3 3 0 1 1
Application Number:

パリ条約による外国への出願
に用いる優先権の主張の基礎
となる出願の国コードと出願
号
e country code and number
your priority application.
be used for filing abroad
under the Paris Convention, is

J P 2 0 0 3 - 1 3 3 0 1 1

願 人 セイコーインスツル株式会社
Applicant(s):

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2 0 0 5 年 4 月 1 4 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川



出証番号 出証特 2 0 0 5 - 3 0 3 3 8 1 7

【書類名】 特許願

【整理番号】 03000280

【提出日】 平成15年 5月12日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 6/24

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 出島 範宏

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 千葉 徳男

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 久保 利哉

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 加藤 健二

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 新輪 隆

【発明者】

【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地 セイコーインス
ツルメンツ株式会社内

【氏名】 中山 浩光

【特許出願人】

【識別番号】 000002325

【氏名又は名称】 セイコーインスツルメンツ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100123788

【弁理士】

【氏名又は名称】 宮崎 昭夫

【電話番号】 03-3585-1882

【選任した代理人】

【識別番号】 100088328

【弁理士】

【氏名又は名称】 金田 暢之

【選任した代理人】

【識別番号】 100106297

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊藤 克博

【選任した代理人】

【識別番号】 100106138

【弁理士】

【氏名又は名称】 石橋 政幸

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002-349856

【出願日】 平成14年12月 2日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 201087

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1
【物件名】 委任状 1
【援用の表示】 平成 1 5 年 5 月 1 2 日提出の委任状を援用する。
【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光スイッチおよび光スイッチ装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 非等間隔で平行に配列されている複数の光ファイバと、
前記複数の光ファイバの前方に位置して、第 1 の光ファイバから出射されたビームを第 2 の光ファイバに導くことができる固定ミラー手段と、

前記複数の光ファイバの前方に進入および退出可能であり、前記光ファイバの前方に進入したときに、前記第 1 の光ファイバから出射されたビームを第 3 の光ファイバに導いて、前記固定ミラー手段によって構成可能な前記第 1 の光ファイバから前記第 2 の光ファイバに至る光路と実質的に同じ長さの光路を形成することができる可動ミラー手段とを有する光スイッチ。

【請求項 2】 前記複数の光ファイバの前方に位置して、第 4 の光ファイバから出射されたビームを前記第 3 の光ファイバに導くことができる他の固定ミラー手段と、

前記複数の光ファイバの前方に進入および退出可能であり、前記光ファイバの前方に進入したときに、前記第 4 の光ファイバから出射されたビームを前記第 2 の光ファイバに導くことができる他の可動ミラー手段とをさらに有する、請求項 1 に記載の光スイッチ。

【請求項 3】 前記他の固定ミラー手段により構成される前記第 4 の光ファイバから前記第 3 の光ファイバに至る光路と、前記他の可動ミラー手段により構成される前記第 4 の光ファイバから前記第 2 の光ファイバに至る光路の、いずれか一方または両方は、前記固定ミラー手段により構成される前記第 1 の光ファイバから前記第 2 の光ファイバに至る光路および前記可動ミラー手段により構成される前記第 1 の光ファイバから前記第 3 の光ファイバに至る光路と、実質的に同じ長さである、請求項 2 に記載の光スイッチ。

【請求項 4】 アド・ドロップ方式の光通信に用いられ、前記第 1 の光ファイバがインと設定され、前記第 2 の光ファイバおよび前記第 3 の光ファイバのうちの一方がアウト、他方がドロップと設定され、前記第 4 の光ファイバがアドと設定される、請求項 3 に記載の光スイッチ。

【請求項 5】 アドと設定された前記第 4 の光ファイバから、ドロップと設定された前記第 2 または第 3 の光ファイバに至る光路のみが、他の光路と長さが異なっている、請求項 4 に記載の光スイッチ。

【請求項 6】 アドと設定された前記第 4 の光ファイバから、ドロップと設定された前記第 2 または第 3 の光ファイバに至る光路は、途中で遮断されている、請求項 4 に記載の光スイッチ。

【請求項 7】 前記固定ミラー手段および前記他の固定ミラー手段は、少なくとも合計 4 つの固定ミラーを含み、前記可動ミラー手段および前記他の可動ミラー手段は、前記複数の光ファイバの前方に進入または退出するように同時に移動可能な、少なくとも合計 4 つの可動ミラーを含んでいる、請求項 3 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の光スイッチ。

【請求項 8】 前記固定ミラー手段および前記他の固定ミラー手段は、少なくとも合計 4 つの固定ミラーを含み、前記可動ミラー手段および前記他の可動ミラー手段は、前記複数の光ファイバの前方に進入または退出するように同時に移動可能であり、前記固定ミラーのいずれかと協働して前記光路を構成可能である合計 2 つの可動ミラーを含んでいる、請求項 3 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の光スイッチ。

【請求項 9】 前記可動ミラーおよび前記固定ミラーは、それぞれ 1 つのビームの反射のみが可能である、請求項 7 または 8 に記載の光スイッチ。

【請求項 10】 前記可動ミラーおよび前記固定ミラーは、前記光路を構成するのに必要な、ビームを反射すべき部分と同数だけ設けられており、前記可動ミラーはビーム径の 3 倍以下の大きさに形成されている、請求項 9 に記載の光スイッチ。

【請求項 11】 全ての前記ミラーが前記光ファイバの光軸に対して 4 5 度の角度に配置されている、請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の光スイッチ。

【請求項 12】 前記光ファイバと前記ミラーとの間に、前記光ファイバ内を伝播してきた前記ビームを集光する、または平行光とするレンズ機能部品が配置されている、請求項 1 ～ 11 のいずれか 1 項に記載の光スイッチ。

【請求項 13】 前記可動ミラーの、光路中への進入量および退出量を制御

することにより、前記光ファイバから出射されたビームが前記光ファイバと光路を形成している他の光ファイバへ結合する光量を調節可能である、請求項 1 ～ 12 のいずれか 1 項に記載の光スイッチ。

【請求項 14】 請求項 1 ～ 13 のいずれか 1 項に記載の複数の光スイッチが、前記光ファイバが並列に配列された面内において、光軸が略平行になるように配置されている光スイッチ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は光スイッチおよび光スイッチ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、光通信分野などにおいて様々な光学デバイスが使用されており、例えば、光ファイバ伝送路の光路の切り換えや遮断を行う光スイッチ装置として、複数の光ファイバとミラーを有する構成のものがある。

【0003】

図 11, 12 に示すように、基板 21 上に複数の光ファイバ 22a ～ 22d が平行に整列し、それらの先端部の前方に、2つの反射面（ミラー）23a, 23b を組み合わせた可動反射部材 23 が、図示しないカンチレバーにより上下動可能に配置されている構成の光スイッチ装置が開示されている（例えば、特許文献 1 参照）。図示しないが、この構成では、カンチレバーに磁性体が設けられ、基板 21 の下方に電磁石が設けられている。そして、電磁石の作動によってカンチレバーを上下させて、可動反射部材 23 が光ファイバ 22b, 22c の先端の前方に進入した状態とそこから退出した状態とを切り換えることができる。可動反射部材 23 が光ファイバ 22b, 22c の先端の前方に進入した状態では、反射面 23a, 23b が光ファイバ 22a, 22c からのビームの光路中に位置するため、固定されている反射面 24a, 24b と協働して、光ファイバ 22a から光ファイバ 22b への光路と、光ファイバ 22c から光ファイバ 22d への光路が形成される。これに対し、可動反射部材 23 が光ファイバ 22b, 22c の先

端の前方から退出した状態では、反射面 2 3 a, 2 3 b が光ファイバ 2 2 a, 2 2 c の光路中に位置せず、その奥に固定されている反射面 2 4 a, 2 4 b が用いられて、光ファイバ 2 2 a から光ファイバ 2 2 d への光路と、光ファイバ 2 2 c から光ファイバ 2 2 b への光路が形成される。このようにして、光ファイバの光路を切り換えられる光スイッチが構成されている。

【0 0 0 4】

【特許文献 1】

特開 2 0 0 0 - 1 3 7 1 7 7 号公報（段落 [0 0 1 7] ～ [0 0 2 7]、図 1）

【0 0 0 5】

【発明が解決しようとする課題】

前記した従来の構成では、光ファイバ 2 2 a ～ 2 2 d は等間隔（ピッチ A）で平行に配列されている。これは、光ファイバ 2 2 a ～ 2 2 d の保持構成を簡単にできるという利点を有している。ところが、このように等間隔で平行に並んでいる光ファイバ 2 2 a ～ 2 2 d の前方に可動の反射板 2 3 a, 2 3 b と固定の反射板 2 4 a, 2 4 b を配置した構成では、光路切り換え時の光路長差が大きくなる可能性がある。すなわち、図 1 2 に示すように、反射板 2 3 a, 2 3 b が挿入されている場合の、光ファイバ 2 2 a から光ファイバ 2 2 b への光路と光ファイバ 2 2 c から光ファイバ 2 2 d への光路が、反射板 2 3 a, 2 3 b が挿入されていない場合の、光ファイバ 2 2 a から光ファイバ 2 2 d への光路と光ファイバ 2 2 c から光ファイバ 2 2 b への光路に比べて長さが異なっている。具体的には、光ファイバ 2 2 a から光ファイバ 2 2 b への端部間の光路長は $E + A + E = A + 2E$ であり、光ファイバ 2 2 c から光ファイバ 2 2 d への端部間の光路長も $E + A + E = A + 2E$ であるが、光ファイバ 2 2 a から光ファイバ 2 2 d への端部間の光路長は $E + A + A + A + E = 3A + 2E$ であり、光ファイバ 2 2 c から光ファイバ 2 2 b への端部間の光路長は $E + D + A + D + E = A + 2D + 2E$ である。このように、光スイッチによる切り換えの前後で光路長に大きな差が出てしまう。

【0 0 0 6】

光スイッチなどの光学デバイスには、グレーデッドインデックス型光ファイバを備えた比較的小径のファイバコリメータが用いられる場合が多く、ファイバコリメータから出射される光は、一旦収束した後で再び広がって進行する。一例として、表 1 および図 13, 14 に、出射された光の進行の様子を示しているように、光ファイバの端面からの距離に応じてビーム径は変動する。

【0007】

【表 1】

距離 (μm)	ビーム半径 (μm)
-250	48.9
-200	42.4
-150	36
-100	29.5
-50	23.1
0	16.6
50	27.2
100	37.8
150	48.4
200	59.1
250	69.8

【0008】

そこでこのファイバコリメータを光学デバイスに組み込む場合には、光の収束と拡がりの状態に基づいて、光学的に接続される 1 対のファイバコリメータを、それらの端部間の間隔が最適になるような位置関係に配置することによって、結合効率が最も良い状態に保つことができる。すなわち、出射側と入射側に同じファイバコリメータを用いる場合、中間地点において焦点を持つようにファイバコリメータを設定することが好ましい。

【0009】

このようにして光学デバイス内のファイバコリメータの設置位置は決められるが、図 12 に示すような構成の場合、例えば、切り換え前の光路の光路長 ($A + 2E$) が最適になるように光ファイバを配置した場合、切り換え後の光路の光路長 ($3A + 2E$ 、 $A + 2D + 2E$) では、ビーム径が太くなり過ぎた状態など光

の状態が不適当なまま、もう一方の光ファイバに入射する構成になる可能性が高い。その場合、光の損失が大きくなる。

【 0 0 1 0 】

ここで、1 対の光ファイバ間の間隔と結合効率との関係について説明する。一方（左側）の光ファイバからのビームが焦点を結ぶ位置（ビーム半径が最小の $16.6 \mu\text{m}$ になる位置）を $0 \mu\text{m}$ として距離を表示し、もう一方（右側）の光ファイバの先端面の位置を変えた場合について図 1 5（a）～（c）に示している。ここで、両光ファイバからの焦点位置が一致するかどうかという観点で考えると、以下に示すマーカスの式によって結合効率が求められる。

【 0 0 1 1 】

【数 1】

$$\eta = [(2W_1W_2) / (W_1^2 + W_2^2)]^2$$

η : 結合効率

W_1 : 一方の光ファイバからのビーム半径

W_2 : 他方の光ファイバからのビーム半径

【 0 0 1 2 】

このマーカスの式に基づいて結合効率を求め、さらに損失を算出した結果を表 2 および図 1 6 に示す。ここでは、一例として、半径約 $50 \mu\text{m}$ のビームを出射し、出射端から $250 \mu\text{m}$ の距離で焦点を結ぶ、すなわちビーム径が最小となる BW (Beam Waist) 点となるように設定された、屈折率分布定数が 3.5 で直径が $125 \mu\text{m}$ （コア径が $100 \mu\text{m}$ ）のファイバコリメータを用いている。

【 0 0 1 3 】

【表 2】

距離 (μm)	結合効率 (%)	損失 (dB)
-250	37.1	4.31
-200	46.1	3.36
-150	57.8	2.38
-100	73.1	1.36
-50	89.8	0.47
0	100	0
50	79.1	1.02
100	54.2	2.66
150	37.7	4.24
200	27.1	5.67
250	20.3	6.93

【0014】

これらの結果から明らかなように、図15(a)に示すように、両光ファイバの焦点(BW点)を一致させるため、先端部間の間隔が $500\mu\text{m}$ になるように配置した場合に、最も結合効率がよく損失が少なくなるが、両光ファイバの間隔が僅かに狂っただけでも、結合効率が大幅に低下し損失が増大する。例えば、図15(b)に示すように、出射側(左側)の光ファイバを固定したままで、入射側(右側)の光ファイバを $100\mu\text{m}$ 遠ざけると、結合効率は54.2%にまで低下する。図15(c)に示すように、一方(左側)の光ファイバを固定したままで、他方(右側)の光ファイバを $100\mu\text{m}$ 近づけた場合でも、結合効率は73.1%に低下する。損失を0.5dB以下に抑えるためには、 $+25\mu\text{m}$ ～ $-50\mu\text{m}$ の範囲で光学的結合するように両光ファイバを配置する必要がある。

【0015】

このように、光学的に接続される光ファイバ間の間隔が数十 μm 変動しただけでも結合効率が大きく低下し損失が増大するので、前記の通り、光スイッチの切り換えの前後で光路長が変わるような構成であると、切り換え前の光路または切り換え後の光路のいずれか一方は高結合効率で良好な光の伝播が行えても、他方は結合効率が低く光の伝播が不良になる可能性が高い。

【0016】

また、図 11, 12 に示す従来の構成では、固定側の反射板 24 a が光ファイバ 22 a と 22 b の前方に位置してビームの反射を行い、反射板 24 b が光ファイバ 22 c と 22 d の前方に位置してビームの反射を行うために、反射板 24 a, 24 b は比較的大面積である必要がある。さらに、可動の反射板 23 a, 23 b は可動反射部材 23 としてユニット化されているために大型化している。このように、反射板（ミラー）の配置される領域が大きくなるため、必然的に、光ファイバ 22 a, 22 c から出射して反射板に到達するまでの距離が長くなり、それによって光ファイバ 22 b, 22 d に至るまでの光路長が長くなる。光路長が長くなると、光ファイバ 22 a ~ 22 d および反射板 23 a, 23 b, 24 a, 24 b の位置や角度の相対的なずれが、たとえ微小であっても大きな影響を及ぼすようになり、光の損失が大きくなる。そのことは非常に精緻で煩雑な組立作業を必要とすることを意味する。また、可動反射板 23 が大型であるため、その駆動手段であるカンチレバーの大型化や電磁石の高出力化を必要とするとともに、共振周波数が低くなって、切り換え速度を遅くせざるを得ず高速光通信に適さなくなるおそれがある。さらに、結果的に光スイッチ全体が大型化するため、1 枚のウエハから製造できる光スイッチの個数が少なくなるため、製造コストの上昇を招くという問題がある。

【0017】

また、従来の光スイッチの用途は光路の切り換えに限定されていたが、光通信には、光路切り換え機能部品の他に、光量を減衰させる機能を持つ部品が必要である。これら作用の異なる機能部品を使用する場合、形状が異なることにより、整列させることができず、設置面積を小さくできなかったり、構成が異なることにより、使用する部品および製造工程が異なり、コストを抑えられないといった問題があった。

【0018】

そこで本発明の目的は、複数の光ファイバからなる光路のうち少なくとも光通信上必要な光路の光路長差をできるだけ小さくするとともに、ミラーの設けられている領域を小型化し、光路長を短くした光スイッチを提供することにある。さらに、本発明のもう 1 つの目的は、1 つの光スイッチが複数の機能を有すること

により、異なる作用を示す機能部品を整列させることが可能となり設置面積を小さくする、また、同一部品を用いることや同一工程の作製が可能となり、コストを抑えた光スイッチを提供することにある。

【0019】

【課題を解決するための手段】

本発明の特徴は、非等間隔で平行に配列されている複数の光ファイバと、複数の光ファイバの前方に位置して、第1の光ファイバから出射されたビームを第2の光ファイバに導くことができる固定ミラー手段と、複数の光ファイバの前方に進入および退出可能であり、光ファイバの前方に進入したときに、第1の光ファイバから出射されたビームを第3の光ファイバに導いて、固定ミラー手段によって構成可能な第1の光ファイバから第2の光ファイバに至る光路と実質的に同じ長さの光路を形成することができる可動ミラー手段とを有するところにある。そして、複数の光ファイバの前方に位置して、第4の光ファイバから出射されたビームを第3の光ファイバに導くことができる他の固定ミラー手段と、複数の光ファイバの前方に進入および退出可能であり、光ファイバの前方に進入したときに、第4の光ファイバから出射されたビームを前記第2の光ファイバに導くことができる他の可動ミラー手段とをさらに有することが好ましく、他の固定ミラー手段により構成される第4の光ファイバから第3の光ファイバに至る光路と、他の可動ミラー手段により構成される第4の光ファイバから第2の光ファイバに至る光路の、いずれか一方または両方は、固定ミラー手段により構成される第1の光ファイバから第2の光ファイバに至る光路および可動ミラー手段により構成される第1の光ファイバから第3の光ファイバに至る光路と、実質的に同じ長さであることが好ましい。

【0020】

このような構成では、各光ファイバの組み合わせによって構成可能な光路のうちの全て、または1つを除いて全てが、光路長が等しくなるように設定されており、これらの光路について、光の良好な伝播状態が確保できる。

【0021】

アド・ドロップ方式の光通信に用いられる場合、第1の光ファイバがインと設

定され、第2の光ファイバおよび第3の光ファイバのうちの一方がアウト、他方がドロップと設定され、第4の光ファイバがアドと設定されるとよい。その場合、アドと設定された第4の光ファイバから、ドロップと設定された第2または第3の光ファイバに至る光路のみが、他の光路と長さが異なってもよい。また、アドと設定された第4の光ファイバから、ドロップと設定された第2または第3の光ファイバに至る光路は、途中で遮断されていてもよい。一般に、アド・ドロップ方式の光通信においては、1つの光路（アド・ドロップの光路）のみは光の伝播状態が悪くても問題にならないので、本発明を適用するのに特に適している。

【0022】

固定ミラー手段および他の固定ミラー手段は、少なくとも合計4つの固定ミラーを含み、可動ミラー手段および他の可動ミラー手段は、複数の光ファイバの前方に進入または退出するように同時に移動可能な、少なくとも合計4つの可動ミラーを含んでいる。または、固定ミラー手段および他の固定ミラー手段は、少なくとも合計4つの固定ミラーを含み、可動ミラー手段および他の可動ミラー手段は、複数の光ファイバの前方に進入または退出するように同時に移動可能であり、固定ミラーのいずれかと協働して光路を構成可能である合計2つの可動ミラーを含んでいる。

【0023】

また、本発明は、複数の光ファイバと、1対の光ファイバの端部間が光学的に接続されることによって構成される光路を、複数の光ファイバの光学的接続の組み合わせを変えることによって、異なる光路に切り換え得る切り換え手段とを有し、複数の光ファイバは、非等間隔で平行に配列され、切り換え手段によって切り換えられる様々な光路の光ファイバの端部間の経路が、全て実質的に同じ長さになるような相対位置関係に配置された構成であってもよい。

【0024】

または、複数の光ファイバは、非等間隔で平行に配列され、切り換え手段によって切り換えられる様々な光路の光ファイバの端部間の経路が、1つの光路を除いてその他は全て実質的に同じ長さになるような相対位置関係に配置された構成

にすることもできる。その場合、アド・ドロップ方式の光通信に用いられるために、少なくとも、アド、ドロップ、イン、およびアウトとしてそれぞれ使用される4本の光ファイバを有し、複数の光ファイバは、アドとして使用される光ファイバとドロップとして使用される光ファイバとからなる光路を除いて、その他の光路（すなわち、インーアウト、インードロップ、アドーアウトの3つの光路）の光ファイバの端部間の経路が実質的に同じ長さになるような相対位置関係に配置されていてもよい。

【0025】

これらの構成でも、前記したのと同様に、各光ファイバの組み合わせによって構成可能な光路のうちの全て、または1つを除いて全てが、光路長が等しくなるように設定されており、これらの光路について、光の良好な伝播状態が確保できる。

【0026】

切り換え手段は可動ミラーと固定ミラーを含み、可動ミラーが光ファイバの光軸上の位置と光軸外の位置とを移動することによって光路の切り換えを行うものであってもよい。

【0027】

以上説明した本発明の各構成において、可動ミラーおよび固定ミラーは、それぞれ1つのビームの反射のみが可能であり、可動ミラーおよび固定ミラーは、前記光路を構成するのに必要な、ビームを反射すべき部分と同数だけ設けられており、可動ミラーはビーム径の3倍以下の大きさに形成されているのが好ましい。このような構成では、各ミラーを小型化でき、ミラー配置領域を小さくできるので、それに伴って光ファイバの先端部をより近接させて、光路長を短くすることができる。それによって、光ファイバおよび各ミラーの位置や角度のずれに対する許容範囲が大きくなる。さらに、可動ミラーが小型であるため、可動部全体を小型軽量化して、共振周波数を高くしてスイッチング速度を速くすることができる。また、電磁石などの駆動手段の出力を小さく抑えることも可能である。さらに、全てのミラーが光ファイバの光軸に対して45度の角度に配置されていることが好ましい。これによって、ミラーの光軸に対する角度が均一化され、調芯な

どの光学的調整が容易になり、製造工程におけるばらつきを小さく抑えることができる。

【 0 0 2 8 】

また、本発明により、可動ミラーを電磁アクチュエータまたは静電アクチュエータを用いて高精度に位置制御することにより、光の伝播量を任意に変化させる可変光減衰器（VOA：Variable Optical Attenuator）を構成することもできる。この構成によれば、アクチュエータを電氣的に制御して可動ミラーを高精度に位置制御することにより、伝播する光量を制御することが可能となる。

【 0 0 2 9 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

【 0 0 3 0 】

〔第 1 の実施形態〕

図 1，2 に本発明の光スイッチの第 1 の実施形態を示している。まず、この光スイッチの基本構成について説明する。

【 0 0 3 1 】

この光スイッチは、光スイッチ本体である基板 1 と、基板 1 上に配置されている光ファイバ 2～5 と、固定ミラー 6 a～6 d と、可動ミラー 7 a，7 b と、基板 1 の上方または下方に配置されている図示しない駆動手段を有している。

【 0 0 3 2 】

本実施形態では、光ファイバ 2～5 は、被覆部 2 b～5 b と、その先端に位置し被覆が剥がされたむき出しのベア部 2 a～5 a とからなり、被覆部 2 b～5 b は基板 1 上で密着して平行に並んでいる。そして、被覆部 2 b～5 b よりも小径であるベア部 2 a～5 a は、先端部が非等間隔に並び、光路長を後述するように調整するように配置されている。なお、基板 1 には、ベア部 2 a～5 a 用のガイド溝 8 a と被覆部 2 b～5 b 用のガイド溝 8 b を有するガイド部材 12 a，12 b が形成されており、光ファイバ 2～5 は、これらのガイド溝 8 a，8 b 内に挿入されることによって基板 1 上に位置決めされ固定されている。本実施形態では、光ファイバ 2 および 4 の組と、光ファイバ 3 および 5 の組に分けられ、いずれ

か一方の組（例えば光ファイバ 2 および 4）が出射側光ファイバで、他方の組（例えば光ファイバ 3 および 5）が入射側光ファイバとなる。なお、ガイド部材 1 2 a, 1 2 b は、本実施形態のように基板 1 に形成される構成に限られず、基板 1 とは別にガラスなどにより形成されて、基板 1 上に配置される構成であってもよい。また、光ファイバとして、テープファイバを用いることもできる。テープファイバを用いる場合には、ガイド部材 1 2 b の代わりに、基板 1 上にテープファイバをガイドおよび固定する溝が形成される。それ以外の構成や作用等については、テープファイバを用いる場合も、被覆部 2 b ~ 5 b とベア部 2 a ~ 5 a とからなる、図示されている光ファイバ 2 ~ 5 を用いる場合と同様である。

【0 0 3 3】

固定ミラー 6 a ~ 6 d は、基板 1 上に直接固定されている。一方、可動ミラー 7 a, 7 b は、基板 1 に対して上方または下方に移動可能な可動部 9 に設けられている。可動部 9 は、基板 1 に設けられた凹部 1 a 内に位置し、平面部 9 a と、この平面部 9 a を凹部 1 a の内周面に接続するバネ性を有する梁部 9 b と、平面部から連続して形成されたステージ部 9 c とからなる。そして、ステージ部 9 c 上に、可動ミラー 7 a, 7 b が設けられている。図 2 に拡大して模式的に示すように、平面的に見ると、光ファイバ 2 のベア部 2 a の先端部の前方に固定ミラー 6 a が位置し、光ファイバ 3 のベア部 3 a の先端部の前方に可動ミラー 7 a と固定ミラー 6 b が位置し、光ファイバ 4 のベア部 4 a の先端部の前方に可動ミラー 7 b と固定ミラー 6 c が位置し、光ファイバ 5 のベア部 5 a の先端部の前方に固定ミラー 6 d が位置している。なお、基板 1 の厚さ方向に見ると、可動ミラー 7 a, 7 b は、可動部 9 が図示されている状態にあるときに（停止位置にあるときに）光ファイバ 3, 4 と対向し、可動部 9 が上方または下方に移動すると光ファイバ 3, 4 と対向しない位置に来る。光ファイバ 2 ~ 5 のベア部 2 a ~ 5 a の先端部は非等間隔に並んでいるが、これらの光軸は全て平行であり、固定ミラー 6 a ~ 6 d および可動ミラー 7 a, 7 b は全てこれらの光軸に対して 4 5 度傾いた姿勢である。

【0 0 3 4】

本実施形態では、可動部 9 の、光ファイバ 2 ~ 5 と反対側にも、前記したのと

全く同じ、ダミーのステージ部 9 c および可動ミラー 7 a, 7 b と固定ミラー 6 a ~ 6 d が設けられている。これによって、可動部 9 は完全に対称形状になるため、移動時にねじり等の不要な動きを生じることがない。それによって、各可動ミラー 7 a, 7 b のビームに対する相対角度や相対位置が正確に保たれる。

【0 0 3 5】

なお、本実施形態の光ファイバ 2 ~ 5 は、グレーデッドインデックス型光ファイバを備えたファイバコリメータであり、端面がクリーブまたは研磨により 3 ~ 8 度程度傾斜させられ、反射防止コーティングが施されて、反射損失を減じてある。そして、各光ファイバ 2 ~ 5 は、ベア部 2 a ~ 5 a の先端部がほぼ一直線上に並ぶように配置されている。なお、グレーデッドインデックス型光ファイバの代わりに、同様のレンズ効果を示すセルフオックレンズや非球面レンズを用いてもよい。セルフオックレンズや非球面レンズを用いる場合にも、反射防止コーティングが施されて、反射損失を減じてあることが望ましい。

【0 0 3 6】

基板 1 の上方または下方に設けられている駆動手段は、可動部 9 に吸引力または反発力を働かせる電磁石または静電アクチュエータであるが、これは従来から周知の構成であるためここでは図示および説明を省略する。なお、駆動手段として電磁石を用いる場合には、図示しない磁性体が可動部 9 に設けられる。駆動手段として静電アクチュエータを用いる場合には、1 対の電極（図示せず）の間に可動部 9 が挿入される。

【0 0 3 7】

このような構成の光スイッチにおいて、図 1 に示されている状態では、可動部 9 の梁部 9 b は変形せず、平面部 9 a 上の可動ミラー 7 a, 7 b は、光ファイバ 3, 4 と対向するように位置する。従って、例えば、図 2 に実線で示すように、光ファイバ 2 から出射されたビームは、固定ミラー 6 a に反射され、さらに可動ミラー 7 a に反射されて光ファイバ 3 に入射する。光ファイバ 4 から出射されたビームは、可動ミラー 7 b に反射され、さらに固定ミラー 6 d に反射されて光ファイバ 5 に入射する。このようにして、光ファイバ 2 から 3 に至る光路と、光ファイバ 4 から 5 に至る光路が形成されている。

【0038】

これに対し、駆動手段が駆動されて可動部 9 に吸引力または反発力を及ぼすと、バネ性を有する梁部 9 b が撓み変形して、平面部 9 a およびステージ部 9 c が基板 1 の上方または下方に移動する。これによって、ステージ部 9 c 上の可動ミラー 7 a, 7 b は、光ファイバ 2 ~ 5 の先端部に対向しない位置に移動する。すなわち、可動ミラー 7 a, 7 b は光ファイバ 2 ~ 5 の光路から退出するため、例えば、図 2 に 1 点鎖線で示すように、光ファイバ 2 から出射されたビームは、固定ミラー 6 a に反射され、さらに固定ミラー 6 d に反射されて光ファイバ 5 に入射する。光ファイバ 4 から出射されたビームは、可動ミラー 7 a, 7 b が光路上に存在しないため、固定ミラー 6 c に反射され、さらに固定ミラー 6 b に反射されて、光ファイバ 3 に入射する。このようにして、光ファイバ 2 から 5 に至る光路と、光ファイバ 4 から 3 に至る光路が形成されている。

【0039】

この場合の光路長について説明する。まず、可動部 9 が図示されている位置にある状態（切り換え前）では、光ファイバ 2 から、固定ミラー 6 a および可動ミラー 7 a を介して光ファイバ 3 に至る光路が形成されており、その光路長（光ファイバのベア部の先端部間の距離）は、図 2 に示すように、 $E + A + E = A + 2E$ である。そして、光ファイバ 4 から、可動ミラー 7 b および固定ミラー 6 d を介して光ファイバ 5 に至る光路も形成され、その光路長は $E + C + E = C + 2E$ である。これに対し、可動部 9 が移動した状態では、光ファイバ 2 から、固定ミラー 6 a および固定ミラー 6 d を介して光ファイバ 5 に至る光路が形成されており、その光路長は $E + A + B + C + E = A + B + C + 2E$ である。そして、光ファイバ 4 から、固定ミラー 6 c および固定ミラー 6 b を介して光ファイバ 3 に至る光路も形成され、その光路長は $E + D + B + D + E = B + 2D + 2E$ である。ここで、各光ファイバ 2 ~ 5 と固定ミラー 6 a ~ 6 d および可動ミラー 7 a, 7 b の相対位置関係を、 $A = C = B + 2D$ と設定することにより、考えられる 4 通りの光路のうちの 3 つの光路長が等しくなる。従って、これらの 3 つの光路に関しては、光ファイバ 2 ~ 5 がファイバコリメータである場合にも全て最適な条件で光ファイバ間の光の伝達が行える。

【0 0 4 0】

一般にアド・ドロップ方式といわれる光通信方式の光学手段では、「IN」、「OUT」、「ADD」、「DROP」という4つの光ファイバを組み合わせて光路を構成するが、特に切り換え前後の「IN」－「OUT」という光路と「ADD」－「OUT」という光路と、「IN」－「DROP」という光路が重要であり、これらの光路ができるだけ低損失で良好に光の伝達を行えるようにしたいため、少なくともこれらの光路長、具体的には光ファイバの端部間の距離を一致させて、かつファイバコリメータの特性に応じて最適な距離になるように配置する。しかし、「ADD」－「DROP」という光路は、アド・ドロップ方式の光通信において通常はあまり必要とされないため、光路長についても特に問わない。従って、図2に示す構成では、光ファイバ2～5を、例えば「ADD」、「OUT」、「IN」、「DROP」の順に設定すれば、「IN」－「OUT」光路の光路長 $(B + 2D + 2E)$ と、「ADD」－「OUT」光路の光路長 $(A + 2E)$ と、「IN」－「DROP」光路の光路長 $(C + 2E)$ を等しくすることができ、「ADD」－「DROP」光路の光路長 $(A + B + C + 2E)$ のみ異なるようにすることができる。これによると、全ての光路の光路長が同一ではないが、十分な効果が得られる。なお、「ADD」、「OUT」、「IN」、「DROP」の組み合わせは前記したものに限られず、光の入射と出射の関係が適正であり、「ADD」－「DROP」以外の3つの光路の光路長が全て等しくなるような組み合わせであれば、自由に設定することができる。

【0 0 4 1】

なお、本実施形態では、例えば、光ファイバ2が第4の光ファイバで、光ファイバ3、5のいずれか一方が第2の光ファイバで他方が第3の光ファイバで、光ファイバ4が第1の光ファイバである。その場合、固定ミラー6bと6cが固定ミラー手段を構成し、固定ミラー6aと6dが他の固定ミラー手段を構成し、可動ミラー7bが可動ミラー手段を構成し、可動ミラー6aが他の可動ミラー手段を構成する。

【0 0 4 2】

表3に、本実施形態の構成における具体的な設計例を示している。

【0 0 4 3】

【表 3】

第 1 の実施形態の設計例

(一般的には、 $A, C=125\sim500\mu m$, $B=125\sim250\mu m$, $D, E=0\sim250\mu m$ である)

A	400
B	150
C	400
D	125
E	100
光ファイバ 2→3	$A+2E$ 600
光ファイバ 4→5	$C+2E$ 600
光ファイバ 2→5	$A+B+C+2E$ 1150
光ファイバ 4→3	$B+2D+2E$ 600

A	350
B	150
C	350
D	100
E	100
光ファイバ 2→3	$A+2E$ 550
光ファイバ 4→5	$C+2E$ 550
光ファイバ 2→5	$A+B+C+2E$ 1050
光ファイバ 4→3	$B+2D+2E$ 550

A	350	
B	150	
C	350	
D	100	
E	75	
光ファイバ 2→3	$A+2E$	500
光ファイバ 4→5	$C+2E$	500
光ファイバ 2→5	$A+B+C+2E$	1000
光ファイバ 4→3	$B+2D+2E$	500

A	300	
B	150	
C	300	
D	75	
E	100	
光ファイバ 2→3	$A+2E$	500
光ファイバ 4→5	$C+2E$	500
光ファイバ 2→5	$A+B+C+2E$	950
光ファイバ 4→3	$B+2D+2E$	500

A	250	
B	150	
C	250	
D	50	
E	100	
光ファイバ 2→3	$A+2E$	450
光ファイバ 4→5	$C+2E$	450
光ファイバ 2→5	$A+B+C+2E$	850
光ファイバ 4→3	$B+2D+2E$	450

A	200	
B	150	
C	200	
D	25	
E	100	
光ファイバ 2→3	$A+2E$	400
光ファイバ 4→5	$C+2E$	400
光ファイバ 2→5	$A+B+C+2E$	750
光ファイバ 4→3	$B+2D+2E$	400

【0044】

前記した通り、 $A=C=B+2D$ と設定することにより3つの光路（アド・ドロップ方式の場合、「IN」-「OUT」、「ADD」-「OUT」、「IN」-「DROP」）

の光路長を等しくできる。実際には、例えば表 1, 2 に示されているようなファイバコリメータの特性や、ファイバの径（表 3 の設計例では直径 $125\ \mu\text{m}$ と設定）や各ミラーの大きさ等を考慮した上で、適切な寸法が選択される。

【0045】

本実施形態では、1 枚のミラーで複数のビームを同時に反射する構成にはなっておらず、1 枚のミラーでは 1 つのビームのみを反射する構成であるため、各ミラーを小型化でき、ミラー配置領域を小さくできるので、それに伴って光ファイバ 2～5 のベア部 2 a～5 a の先端部をより近接させて、光路長を短くすることができる。そして、光路長を短くすることによって、光ファイバ 2～5 および各ミラー 6 a～6 d, 7 a, 7 b の位置や角度のずれに対する許容範囲が大きくなる。

【0046】

また、可動ミラー 7 a, 7 b が、好ましくはビーム径の 3 倍以下、より好ましくは 1.5 倍程度と小型であるため、可動部全体を小型軽量化して、電磁石などの駆動手段の出力を小さく抑えることができるとともに、共振周波数を高くして高速光通信にスイッチング速度を速くすることができる。さらに、光スイッチ全体を小型化して 1 枚のウエハから製造できる光スイッチの個数を増やし、製造コストを低減することも可能である。

【0047】

この光スイッチ装置の製造方法について簡単に説明すると、まず、シリコンからなる基板 1 をパターンエッチングして、凹部 1 a と、この凹部 1 a 内に位置する可動部 9（平面部 9 a と梁部 9 b とステージ部 9 c）とを形成すると同時に、基板 1 上の固定ミラー 6 a～6 d と、可動部 9 のステージ部 9 c 上の可動ミラー 7 a, 7 b と、ガイド溝 8 a, 8 b を有するガイド部材 12 a, 12 b とを形成する。各ミラー 6 a～6 d, 7 a, 7 b の表面には、用いられる光の波長に対して反射率を向上させるために金またはアルミニウムを蒸着する。さらに、ガイド部材 12 a, 12 b のガイド溝 8 a, 8 b 内に光ファイバ 2～5 を挿入して位置決めして UV 接着剤などを用いて固定する。なお、ガイド溝 8 a, 8 b によって、各光ファイバ 2～5 は、前記した相対位置関係を満たすように配置される。そ

の後、図示しないが電磁石などの駆動手段を配置して、光スイッチ装置を完成させる。

【0 0 4 8】

図 3 には、本実施形態の変形例が示されている。この例では、光ファイバ 2 ～ 5 が全く被覆されておらず、ガイド部材 1 2 b に支持されている部分では等間隔で平行に配列され、ガイド部材 1 2 b とガイド部材 1 2 a との間に、前記した位置関係になるように曲げられている。

【0 0 4 9】

図 4 には、本実施形態のさらに他の変形例が示されている。この例では、ダミーのステージ部 9 c および可動ミラー 7 a, 7 b と固定ミラー 6 a ～ 6 d が設けられておらず、平面部 9 a が 4 本の梁部 9 b によって四方から吊られた状態になっている。この構成では、可動部 9 のさらなる小型化および軽量化が図れる。また、この光スイッチは、図 5 に示すミラー構造部 1 1 a と図 6 に示すコリメータ構造部 1 1 b が別々に形成されて接合された構成である。これによると、製造工程が簡単になるとともに、各ミラーと光ファイバの相対位置合わせ調整が比較的容易に行える。

【0 0 5 0】

図 7 には、本実施形態のさらに他の変形例が示されている。この例の可動部 1 3 は、凹部 1 a 内に位置する片持ち梁状の 2 つの可動プレート 1 3 a からなり、その 2 つの可動プレート 1 3 a によって可動ミラー 7 a, 7 b が保持されている。このように、本発明の可動部の形態については特に限定されるものではない。

【0 0 5 1】

また、可動ミラー 7 a を配置せずに、可動ミラー 7 b を高精度に位置制御する、すなわち、可動ミラー 7 b の光路中への進入量および退出量を高精度に制御することにより、可変減衰器 (VOA) を構成することが可能である。例えば、可動ミラー 7 b をビームサイズの半分まで光路中に進入させると、「IN」ポートからの光は半分が可動ミラー 7 b に反射されて「DROP」ポートへ伝播し、残りの半分の光が可動ミラー 7 b に邪魔されずに「OUT」ポートへ伝播する。すなわち、「IN」ポートからの信号光を、「OUT」ポートと「DROP」ポートに半分ずつ分割

して伝播することができる。また、例えば可動ミラー 7b をビームサイズの 7 割まで光路中に進入させると、7 割の光が可動ミラー 7b に反射されて「DROP」ポートへ伝播し、残りの 3 割の光が可動ミラー 7b に邪魔されずに「OUT」ポートへ伝播することになる。従って、可動ミラー 7b の位置、すなわち光路中への進入量および退出量を高精度に制御することにより、各ポートへ伝播する光量を制御することが可能となる。可動ミラー 7b は、電磁アクチュエータや静電アクチュエータを用いることにより、高精度に位置制御することが可能となる。電磁アクチュエータを用いる場合には、電磁アクチュエータに流す電流を制御して可動ミラーを高精度に位置制御できる。また、静電アクチュエータを用いる場合には、静電アクチュエータにかかる電圧を制御して可動ミラーを高精度に位置制御できる。さらに、可動ミラー 7b を配置せずに可動ミラー 7a を配置する構成として、可動ミラー 7a の光路中への進入量および退出量を高精度に制御することによっても、同様に VOA を構成することが可能であることは言うまでもない。

【0052】

また、光ファイバを整列させた面内において、本発明による前記した構成の光スイッチ S を複数個並列に配列して使用することにより、アレイ状の光スイッチ装置を構成することができる。その具体的な例としては、図 17 (a) に示すように複数の光スイッチ S を 1 列に並べた構成や、図 17 (b) に示すように複数の光スイッチ S を千鳥状に並べて、幅方向（図 17 の上下方向）に小型化した構成等が挙げられる。さらに、図 17 (c) に示すように、実質的に図 17 (a) と同様に光スイッチ S を複数個並列に配置した構成であるが、基板 1 などの部材を共通化することによって複数の光スイッチ S を一体化した構成の光スイッチ装置を形成することもできる。すなわち、固定ミラーや可動ミラー部分などを同一のウエハ内に並列に配置して作製することにより、より小型で低コストなアレイ状の光スイッチ装置が作製可能である。この場合、光スイッチ装置の製造や取り扱いが非常に簡単になる。なお、これらの光スイッチ装置においては、各光スイッチ S は、それぞれの光ファイバの光軸が実質的に平行になるように配置される。

【0053】

このようにアレイ状の光スイッチ装置を構成する場合には、可動ミラーを駆動させるための磁力および静電力などの駆動力が、隣接する光スイッチ S へ影響を与えない構造とする必要がある。静電力を用いる場合には、作用範囲が $10\ \mu\text{m}$ 程度と小さいことにより、光スイッチ S 同士を接近させやすい。また、磁力を用いる場合には、作用範囲が数百 μm 程度であるため、隣接する光スイッチへ影響を与えないように磁気を遮断する磁気シールドなどの構造が必要となる。

【0054】

[第2の実施形態]

次に、図8に示す本発明の光スイッチの第2の実施形態について説明する。本実施形態は、光ファイバと各ミラーの配置のみが第1の実施形態と異なっており、その他の構成や製造方法は第1の実施形態と実質的に同一であるので説明を省略する。

【0055】

本実施形態では、4つの固定ミラー14a～14dが各光ファイバ2～5の先端部の前方にそれぞれ配置され、固定ミラー14aと光ファイバ2の間に可動ミラー15aが、固定ミラー14cと光ファイバ4の間に可動ミラー15bがそれぞれ配置されている。本実施形態では、光ファイバ2および5の組と、光ファイバ3および4の組に分けられ、いずれか一方の組（例えば光ファイバ2および5）が出射側光ファイバで、他方の組（例えば光ファイバ3および4）が入射側光ファイバとなる。

【0056】

この光スイッチにおいて、図8に示されている状態では、例えば、実線で示すように、光ファイバ2から出射されたビームは、可動ミラー15aに反射され、さらに可動ミラー15bに反射されて光ファイバ4に入射する。光ファイバ5から出射されたビームは、固定ミラー14dおよび14cに反射されるが、可動ミラー15bの裏面に遮断されて、他の光ファイバには到達しない。結局、光ファイバ2から4に至る光路のみが形成されている。図示しない駆動手段が可動部を駆動すると、可動ミラー15a、15bは、光ファイバ2～5の先端部に対向しない位置に移動するため、例えば、1点鎖線で示すように、光ファイバ2から出

射されたビームは、固定ミラー 14 a に反射され、さらに固定ミラー 14 b に反射されて光ファイバ 3 に入射する。光ファイバ 5 から出射されたビームは、固定ミラー 14 d に反射され、さらに固定ミラー 14 c に反射されて、光ファイバ 4 に入射する。このようにして、光ファイバ 2 から 3 に至る光路と、光ファイバ 5 から 4 に至る光路が形成されている。

【0057】

図示されている状態における光ファイバ 2 から 4 に至る光路の光路長は $E + A + B + E = A + B + 2E$ である。そして、可動ミラー 15 a, 15 b 移動時の光ファイバ 2 から 3 に至る光路の光路長は $E + D + A + D + E = A + 2D + 2E$ 、光ファイバ 5 から 4 に至る光路の光路長は $E + D + C + D + E = C + 2D + 2E$ である。従って、各光ファイバ 2～5 と固定ミラー 14 a～14 d および可動ミラー 15 a, 15 b の相対位置関係を、 $A = C$ かつ $B = 2D$ と設定することにより、3つの光路の光路長が等しくなる。アド・ドロップ方式の場合、光ファイバ 2～5 を、例えば「IN」、「DROP」、「OUT」、「ADD」の順に設定すれば、必ずしも必要ではない「ADD」－「DROP」光路を省略し、その他の「IN」－「OUT」、「ADD」－「OUT」、「IN」－「DROP」の3つの光路の光路長を等しくすることができる。その具体的な設計例を表 4 に示している。

【0058】

【表 4】

第2の実施形態の設計例

(一般的には、A、B、C=125~500 μ m、D、E=0~250 μ mである)

A	300		
B	250		
C	300		
D	125		
E	100		
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E$	750	
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E$	750	
光ファイバ 2→4	$A+B+2E$	750	
光ファイバ 5→3		なし	

A	250		
B	250		
C	250		
D	125		
E	100		
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E$	700	
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E$	700	
光ファイバ 2→4	$A+B+2E$	700	
光ファイバ 5→3		なし	

A	250		
B	250		
C	250		
D	125		
E	50		
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E$	600	
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E$	600	
光ファイバ 2→4	$A+B+2E$	600	
光ファイバ 5→3		なし	

A	200		
B	150		
C	200		
D	75		
E	100		
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E$	550	
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E$	550	
光ファイバ 2→4	$A+B+2E$	550	
光ファイバ 5→3		なし	

A	200		
B	200		
C	200		
D	100		
E	50		
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E$	500	
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E$	500	
光ファイバ 2→4	$A+B+2E$	500	
光ファイバ 5→3		なし	

A	150		
B	150		
C	150		
D	75		
E	50		
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E$	400	
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E$	400	
光ファイバ 2→4	$A+B+2E$	400	
光ファイバ 5→3		なし	

【0059】

これによると、第1の実施形態と実質的に同じ効果を得ることができる。

【0060】

なお、本実施形態では、例えば、光ファイバ2が第1の光ファイバで、光ファ

イバ3, 4のいずれか一方が第2の光ファイバで他方が第3の光ファイバで、光ファイバ5が第4の光ファイバである。その場合、固定ミラー14aと14bが固定ミラー手段を構成し、固定ミラー14cと14dが他の固定ミラー手段を構成し、可動ミラー15aと15bが可動ミラー手段を構成する。

【0061】

[第3の実施形態]

次に、図9に示す本発明の光スイッチの第3の実施形態について説明する。本実施形態は、光ファイバと各ミラーの配置のみが第1の実施形態と異なっており、その他の構成や製造方法は第1の実施形態と実質的に同一であるので説明を省略する。

【0062】

本実施形態では、4つの固定ミラー16a～16dが各光ファイバ2～5の先端部の前方にそれぞれ配置され、各固定ミラー16a～16dと各光ファイバ2～5の間に可動ミラー17a～17dがそれぞれ配置されている。本実施形態では、光ファイバ2および5の組と、光ファイバ3および4の組に分けられ、いずれか一方の組（例えば光ファイバ2および5）が出射側光ファイバで、他方の組（例えば光ファイバ3および4）が入射側光ファイバとなる。

【0063】

この光スイッチにおいて、図9に示されている状態では、例えば、実線で示すように、光ファイバ2から出射されたビームは、可動ミラー17aに反射され、さらに可動ミラー17cに反射されて光ファイバ4に入射する。光ファイバ5から出射されたビームは、可動ミラー17dに反射され、さらに可動ミラー17bに反射されて光ファイバ3に入射する。こうして、光ファイバ2から4に至る光路と、光ファイバ5から3に至る光路が形成されている。図示しない駆動手段が可動部を駆動すると、可動ミラー17a～17dは、光ファイバ2～5の先端部に対向しない位置に移動するため、例えば、1点鎖線で示すように、光ファイバ2から出射されたビームは、固定ミラー16aに反射され、さらに固定ミラー16bに反射されて光ファイバ3に入射する。光ファイバ5から出射されたビームは、固定ミラー16dに反射され、さらに固定ミラー16cに反射されて、光フ

ファイバ4に入射する。このようにして、光ファイバ2から3に至る光路と、光ファイバ5から4に至る光路が形成されている。

【0064】

図9に示されている状態における光ファイバ2から4に至る光路の光路長は $F + E + A + B + E + F = A + B + 2E + 2F$ 、光ファイバ5から3に至る光路の光路長は $F + C + B + F = B + C + 2F$ である。そして、可動ミラー17a～17d移動時の光ファイバ2から3に至る光路の光路長は $F + E + D + A + D + E + F = A + 2D + 2E + 2F$ 、光ファイバ5から4に至る光路の光路長は $F + E + D + C + D + E + F = C + 2D + 2E + 2F$ である。従って、各光ファイバ2～5と固定ミラー16a～16dおよび可動ミラー17a～17dの相対位置関係を、 $A = C$ かつ $B = 2D$ と設定することにより、考えられる4つの光路のうちの3つの光路長が等しくなる。アド・ドロップ方式の場合、光ファイバ2～5を、例えば「IN」、「DROP」、「OUT」、「ADD」の順に設定すれば、「IN」－「OUT」、「ADD」－「OUT」、「IN」－「DROP」の3つの光路の光路長を等しくし、「ADD」－「DROP」光路の光路長のみわずかに異なる構成にできる。その具体的な設計例を表5に示している。

【0065】

【表 5】

第3の実施形態の設計例

(一般的には、A、B、C=125~500 μ m、D、E、F=0~250 μ mである)

A	250			A	250		
B	250			B	200		
C	250			C	250		
D	125			D	100		
E	50			E	50		
F	50			F	50		
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	700		光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	650	
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E+2F$	700		光ファイバ 5→4	$C+2D+2E+2F$	650	
光ファイバ 2→4	$A+B+2E+2F$	700		光ファイバ 2→4	$A+B+2E+2F$	650	
光ファイバ 5→3	$B+C+2F$	600		光ファイバ 5→3	$B+C+2F$	550	

A	250			A	200		
B	150			B	150		
C	250			C	200		
D	75			D	75		
E	50			E	50		
F	50			F	50		
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	600		光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	550	
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E+2F$	600		光ファイバ 5→4	$C+2D+2E+2F$	550	
光ファイバ 2→4	$A+B+2E+2F$	600		光ファイバ 2→4	$A+B+2E+2F$	550	
光ファイバ 5→3	$B+C+2F$	500		光ファイバ 5→3	$B+C+2F$	450	

A	150			A	150		
B	150			B	150		
C	150			C	150		
D	75			D	75		
E	50			E	50		
F	50			F	25		
光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	500		光ファイバ 2→3	$A+2D+2E+2F$	450	
光ファイバ 5→4	$C+2D+2E+2F$	500		光ファイバ 5→4	$C+2D+2E+2F$	450	
光ファイバ 2→4	$A+B+2E+2F$	500		光ファイバ 2→4	$A+B+2E+2F$	450	
光ファイバ 5→3	$B+C+2F$	400		光ファイバ 5→3	$B+C+2F$	350	

【0066】

これによると、可動ミラーの数が増えるものの、唯一異なる「ADD」-「DROP

」光路の光路長も、他の 3 つの光路に非常に近づけることができる。なお、それ以外は第 1 の実施形態と実質的に同じ効果を得ることができる。

【0 0 6 7】

なお、本実施形態では、例えば、光ファイバ 2 が第 1 の光ファイバで、光ファイバ 3、4 のいずれか一方が第 2 の光ファイバで他方が第 3 の光ファイバで、光ファイバ 5 が第 4 の光ファイバである。その場合、固定ミラー 1 6 a と 1 6 b が固定ミラー手段を構成し、固定ミラー 1 6 c と 1 6 d が他の固定ミラー手段を構成し、可動ミラー 1 7 a と 1 7 c が可動ミラー手段を構成し、可動ミラー 1 7 b と 1 7 d が他の可動ミラー手段を構成する。

【0 0 6 8】

[第 4 の実施形態]

次に、図 1 0 に示す本発明の光スイッチの第 4 の実施形態について説明する。本実施形態は、光ファイバと各ミラーの配置のみが第 1 の実施形態と異なっており、その他の構成や製造方法は第 1 の実施形態と実質的に同一であるので説明を省略する。

【0 0 6 9】

本実施形態では、4 つの固定ミラー 1 8 a ～ 1 8 d が各光ファイバ 2 ～ 5 の先端部の前方にそれぞれ配置され、各固定ミラー 1 8 a ～ 1 8 d と各光ファイバ 2 ～ 5 の間に可動ミラー 1 9 a ～ 1 9 d がそれぞれ配置されている。本実施形態では、光ファイバ 2 および 4 の組と、光ファイバ 3 および 5 の組に分けられ、いずれか一方の組（例えば光ファイバ 2 および 4）が出射側光ファイバで、他方の組（例えば光ファイバ 3 および 5）が入射側光ファイバとなる。

【0 0 7 0】

この光スイッチにおいて、図 1 0 に示されている状態では、例えば、実線で示すように、光ファイバ 2 から出射されたビームは、可動ミラー 1 9 a に反射され、さらに可動ミラー 1 9 d に反射されて光ファイバ 5 に入射する。光ファイバ 4 から出射されたビームは、可動ミラー 1 9 c に反射され、さらに可動ミラー 1 9 b に反射されて光ファイバ 3 に入射する。こうして、光ファイバ 2 から 5 に至る光路と、光ファイバ 4 から 3 に至る光路が形成されている。図示しない駆動手段

が可動部を駆動すると、可動ミラー 19 a～19 d は、光ファイバ 2～5 の先端部に対向しない位置に移動するため、例えば、1 点鎖線で示すように、光ファイバ 2 から出射されたビームは、固定ミラー 18 a に反射され、さらに固定ミラー 18 b に反射されて光ファイバ 3 に入射する。光ファイバ 4 から出射されたビームは、固定ミラー 18 c に反射され、さらに固定ミラー 18 d に反射されて、光ファイバ 5 に入射する。このようにして、光ファイバ 2 から 3 に至る光路と、光ファイバ 4 から 5 に至る光路が形成されている。

【0071】

図 10 に示されている状態における光ファイバ 2 から 5 に至る光路の光路長は $F + A + B + C + F = A + B + C + 2F$ 、光ファイバ 4 から 3 に至る光路の光路長は $F + E + B + E + F = B + 2E + 2F$ である。そして、可動ミラー 19 a～19 d 移動時の光ファイバ 2 から 3 に至る光路の光路長は $F + E + D + A + D + E + F = A + 2D + 2E + 2F$ 、光ファイバ 4 から 5 に至る光路の光路長は $F + E + D + C + D + E + F = C + 2D + 2E + 2F$ である。従って、各光ファイバ 2～5 と固定ミラー 18 a～18 d および可動ミラー 19 a～19 d の相対位置関係を、 $A = C$ かつ $A + B = 2D + 2F$ と設定することにより、考えられる 4 つの光路のうちの 3 つの光路長が等しくなる。アド・ドロップ方式の場合、光ファイバ 2～5 を、例えば「IN」、「DROP」、「ADD」、「OUT」の順に設定すれば、「IN」－「OUT」、「ADD」－「OUT」、「IN」－「DROP」の 3 つの光路の光路長を等しくし、「ADD」－「DROP」光路の光路長のみわずかに短い構成にできる。その具体的な設計例を表 6 に示している。

【0072】

【表 6】

第 4 の実施形態の設計例

(一般的には、A、B、C=125~500 μ m、D、E、F=0~250 μ mである)

A	150			A	150		
B	300			B	250		
C	150			C	150		
D	125			D	125		
E	100			E	75		
F	50			F	50		
光ファイバ 2→3	A+2D+2E+2F	700		光ファイバ 2→3	A+2D+2E+2F	650	
光ファイバ 4→5	C+2D+2E+2F	700		光ファイバ 4→5	C+2D+2E+2F	650	
光ファイバ 2→5	A+B+C+2F	700		光ファイバ 2→5	A+B+C+2F	650	
光ファイバ 4→3	B+2E+2F	600		光ファイバ 4→3	B+2E+2F	500	

A	150			A	150		
B	200			B	150		
C	150			C	150		
D	125			D	100		
E	50			E	50		
F	50			F	50		
光ファイバ 2→3	A+2D+2E+2F	600		光ファイバ 2→3	A+2D+2E+2F	550	
光ファイバ 4→5	C+2D+2E+2F	600		光ファイバ 4→5	C+2D+2E+2F	550	
光ファイバ 2→5	A+B+C+2F	600		光ファイバ 2→5	A+B+C+2F	550	
光ファイバ 4→3	B+2E+2F	400		光ファイバ 4→3	B+2E+2F	350	

A	150			A	150		
B	150			B	150		
C	150			C	150		
D	50			D	50		
E	125			E	100		
F	50			F	50		
光ファイバ 2→3	A+2D+2E+2F	600		光ファイバ 2→3	A+2D+2E+2F	550	
光ファイバ 4→5	C+2D+2E+2F	600		光ファイバ 4→5	C+2D+2E+2F	550	
光ファイバ 2→5	A+B+C+2F	550		光ファイバ 2→5	A+B+C+2F	550	
光ファイバ 4→3	B+2E+2F	500		光ファイバ 4→3	B+2E+2F	450	

【0073】

これによると、第 3 の実施形態と同様に、可動ミラーの数が増えるものの、唯

一異なる「ADD」－「DROP」光路の光路長も、他の3つの光路に非常に近づけることができる。それ以外は第1の実施形態と実質的に同じ効果を得ることができる。

【0074】

なお、本実施形態では、例えば、光ファイバ2が第1の光ファイバで、光ファイバ3、5のいずれか一方が第2の光ファイバで他方が第3の光ファイバで、光ファイバ4が第4の光ファイバである。その場合、固定ミラー18aと18bが固定ミラー手段を構成し、固定ミラー18cと18dが他の固定ミラー手段を構成し、可動ミラー19aと19dが可動ミラー手段を構成し、可動ミラー19bと19cが他の可動ミラー手段を構成する。

【0075】

本発明は、以上説明した4つの実施形態に限られず、光ファイバおよび固定ミラーおよび可動ミラーを、考えられる様々な位置関係に配置することができ、いかなる場合であっても、構成可能な多数の光路のうち、少なくとも、1つを除いては全て同じ光路長になるように配置される。これによって、特にアド・ドロップ方式の光通信に適した、良好な光の伝播が可能な光スイッチが実現できる。もちろん、構成可能な全ての光路の光路長が等しくなるように光ファイバおよび固定ミラーおよび可動ミラーを配置することも、本発明の技術的思想に含まれるものである。その場合、例えば、前記した各実施形態のように全てのミラーを光軸に対して45度に傾けて配置するのではなく、各ミラーの角度をそれぞれ細かく設定するなどの調整を行うのが好ましい。各光路の光路長は、実際には、使用されるファイバコリメータの特性や、ファイバの径や各ミラーの大きさ等を考慮した上で、適切な寸法が選択される。また、光ファイバの数やそれぞれの用途（入射側または出射側など）や、可動ミラーの駆動手段の形態等については、自由に変更することができる。

【0076】

【発明の効果】

本発明では、各光ファイバの組み合わせによって構成可能な光路のうちの全て、または1つを除いて全てが、光路長が等しくなるように設定されており、これ

らの光路について、光の良好な伝播状態が確保できる。アド・ドロップ方式の光通信においては、1つの光路（アド・ドロップの光路）のみは光の伝播状態が悪くても問題にならないので、本発明を適用するのに特に適している。

【0077】

また、本発明では、各ミラーを小型化でき、ミラー配置領域を小さくできるので、それに伴って光ファイバの先端部をより近接させて、光路長を短くすることができ、それによって、光ファイバおよび各ミラーの位置や角度のずれに対する許容範囲が大きくなる。さらに、可動ミラーが小型であるため、可動部全体を小型軽量化して、共振周波数を高くしてスイッチング速度を速くすることができる。また、電磁石などの駆動手段の出力を小さく抑えることもできる。

【0078】

また、本発明では、1つの光スイッチ装置が複数の機能を有することにより、設置面積の縮小やコストの低減が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

(a) は本発明の光スイッチの第1の実施形態の平面図、(b) は(a) のX-X線断面図、(c) は(a) のY-Y線断面図である。

【図2】

(a) は図1に示す光スイッチの要部の模式図、(b) は(a) の断面図である。

【図3】

本発明の光スイッチの第1の実施形態の変形例の平面図である。

【図4】

本発明の光スイッチの第1の実施形態の他の変形例の平面図である。

【図5】

図4に示す光スイッチのミラー構造部の拡大図である。

【図6】

図4に示す光スイッチのコリメータ構造部の拡大図である。

【図7】

本発明の光スイッチの第1の実施形態のさらに他の変形例の平面図である。

【図8】

本発明の光スイッチの第2の実施形態の要部の模式図である。

【図9】

本発明の光スイッチの第3の実施形態の要部の模式図である。

【図10】

本発明の光スイッチの第4の実施形態の要部の模式図である。

【図11】

従来の光スイッチの平面図である。

【図12】

図11に示す従来の光スイッチの要部の模式図である。

【図13】

光ファイバから出射した光の進行状況を示す模式図である。

【図14】

光ファイバから出射した光の焦点からの距離とビーム半径との関係を示すグラフである。

【図15】

1対の光ファイバ間の光学的接続を説明する模式図である。

【図16】

1対の光ファイバ間の光学的接続位置の焦点からの距離と損失との関係を示すグラフである。

【図17】

(a) は本発明の光スイッチを複数個含む光スイッチ装置の例を示す概略平面図、(b) は光スイッチ装置の他の例を示す概略平面図、(c) は光スイッチ装置のさらに他の例を示す概略平面図である。

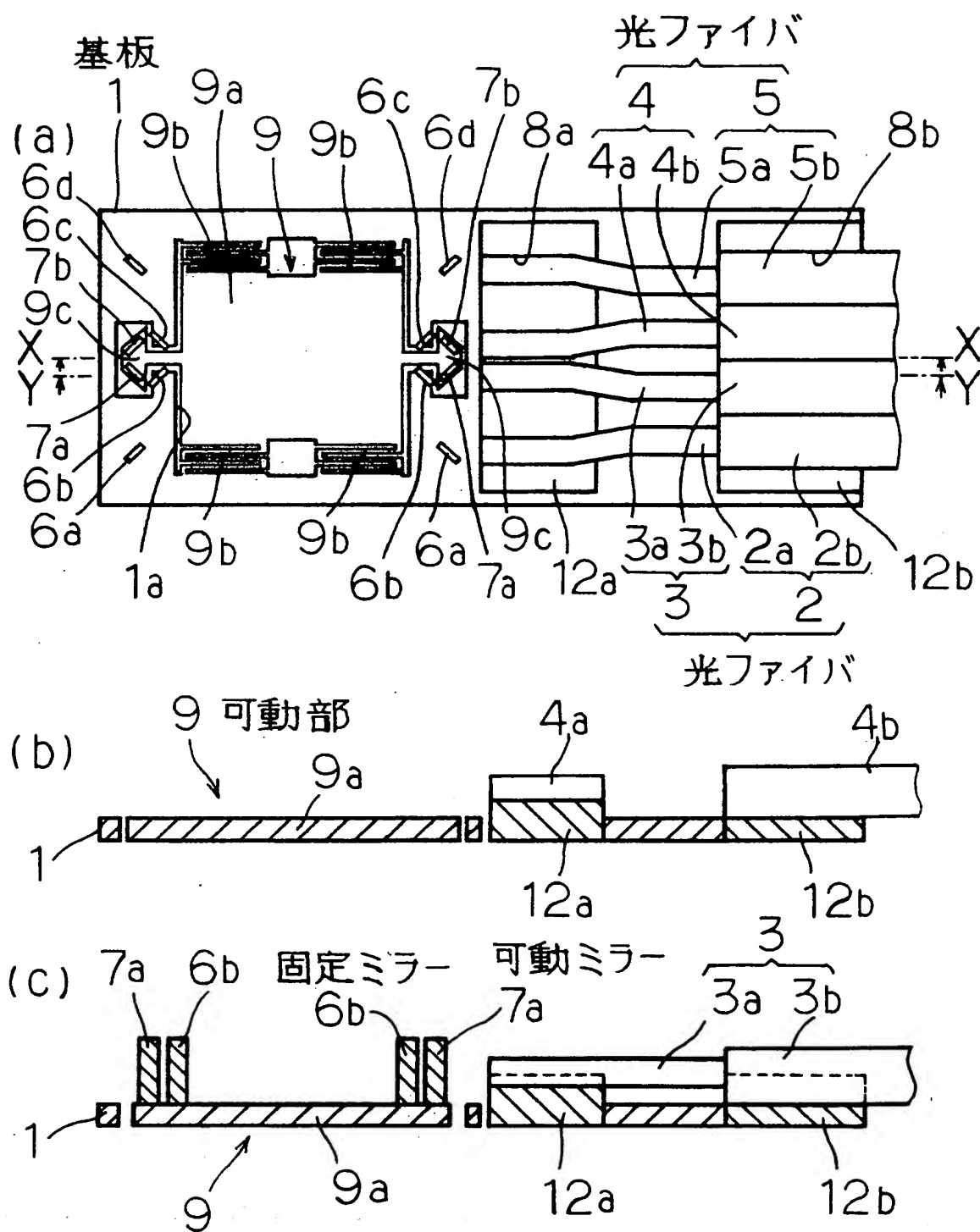
【符号の説明】

- 1 基板
- 1 a 凹部
- 2～5 光ファイバ

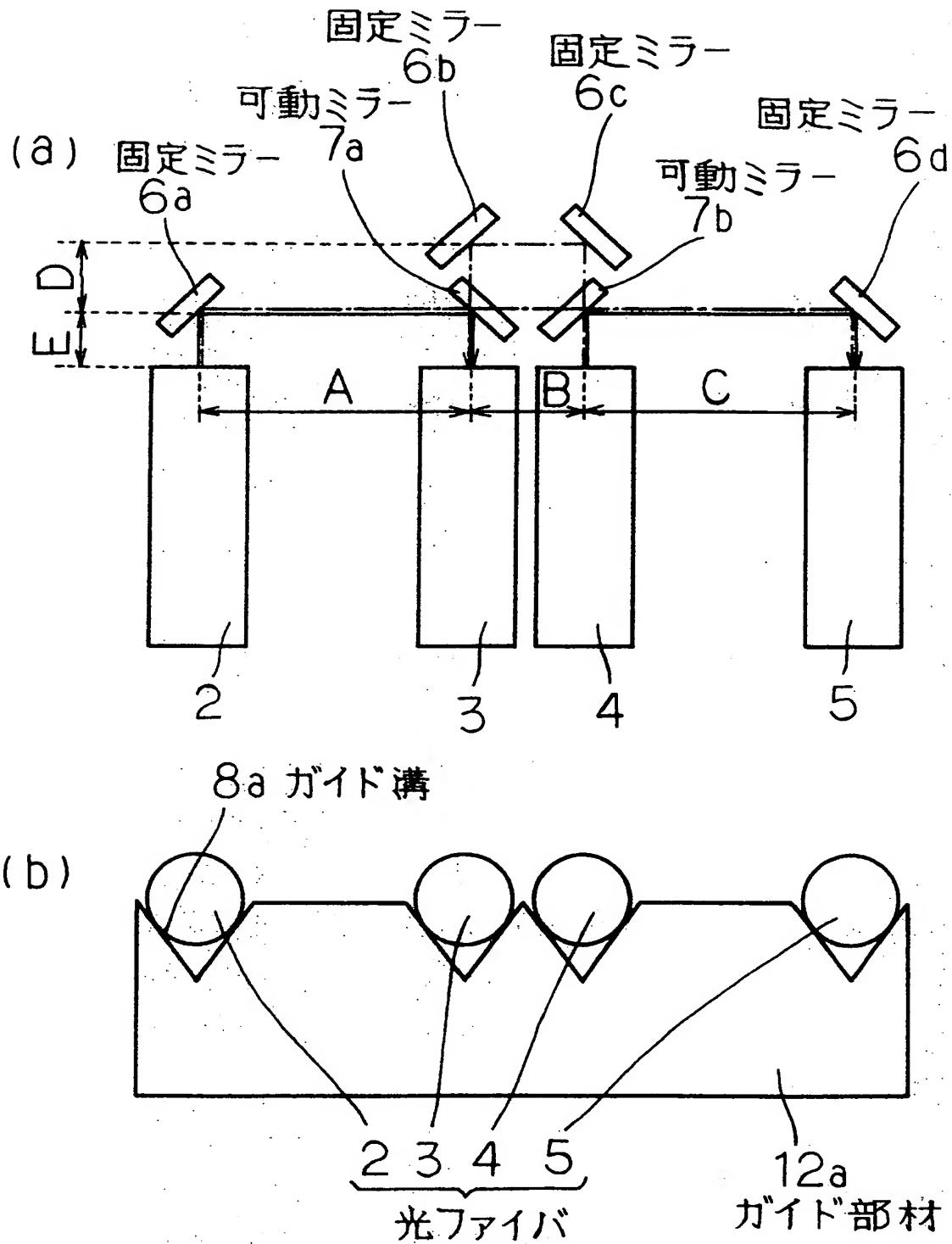
6 a ~ 6 d, 14 a ~ 14 d, 16 a ~ 16 b, 18 a ~ 18 d 固定ミラー
7 a, 7 b, 15 a, 15 b, 17 a ~ 17 d, 19 a ~ 19 d 可動ミラー
8 a, 8 b ガイド溝
9 可動部

【書類名】 図面

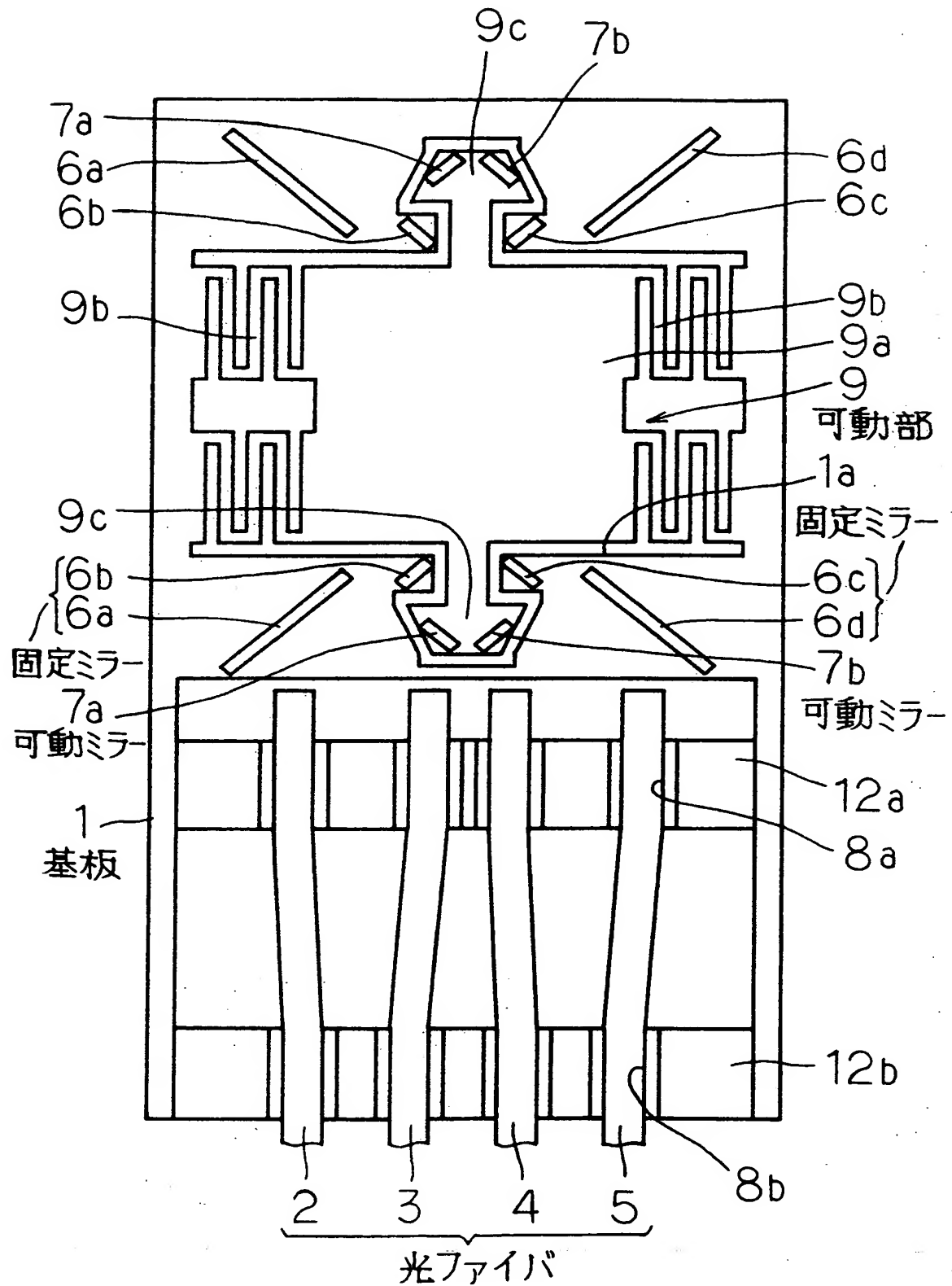
【図 1】



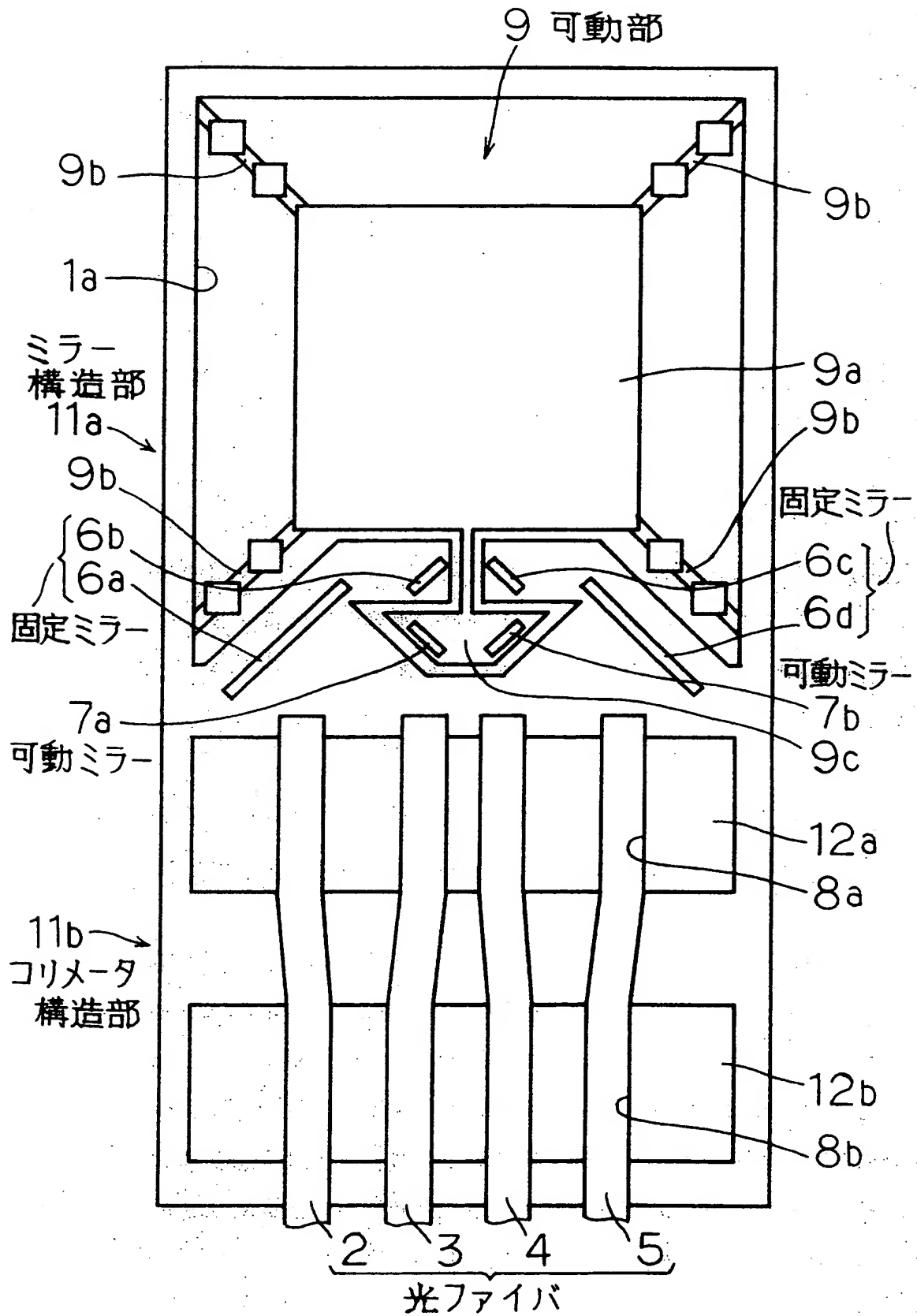
【図 2】



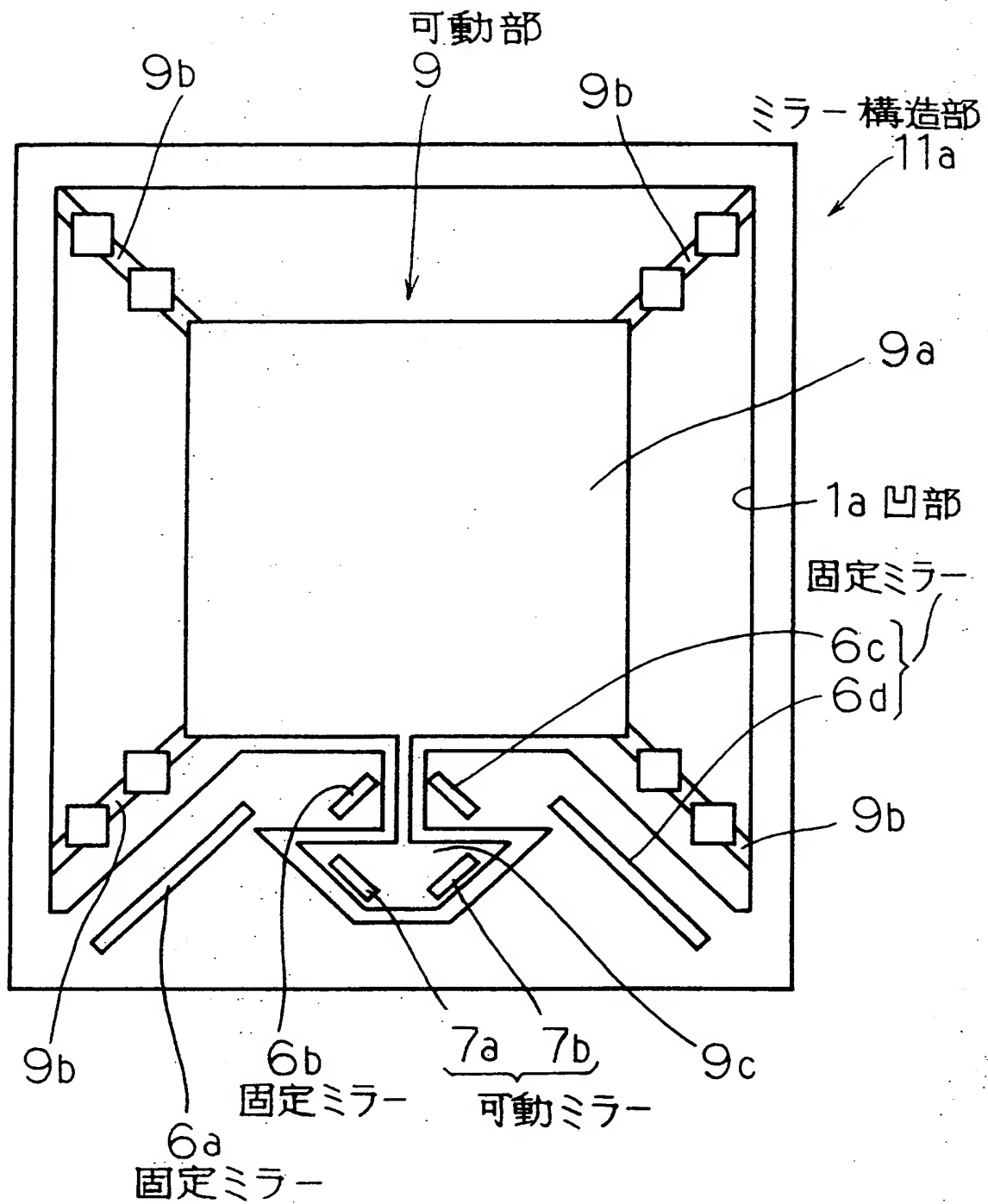
【図 3】



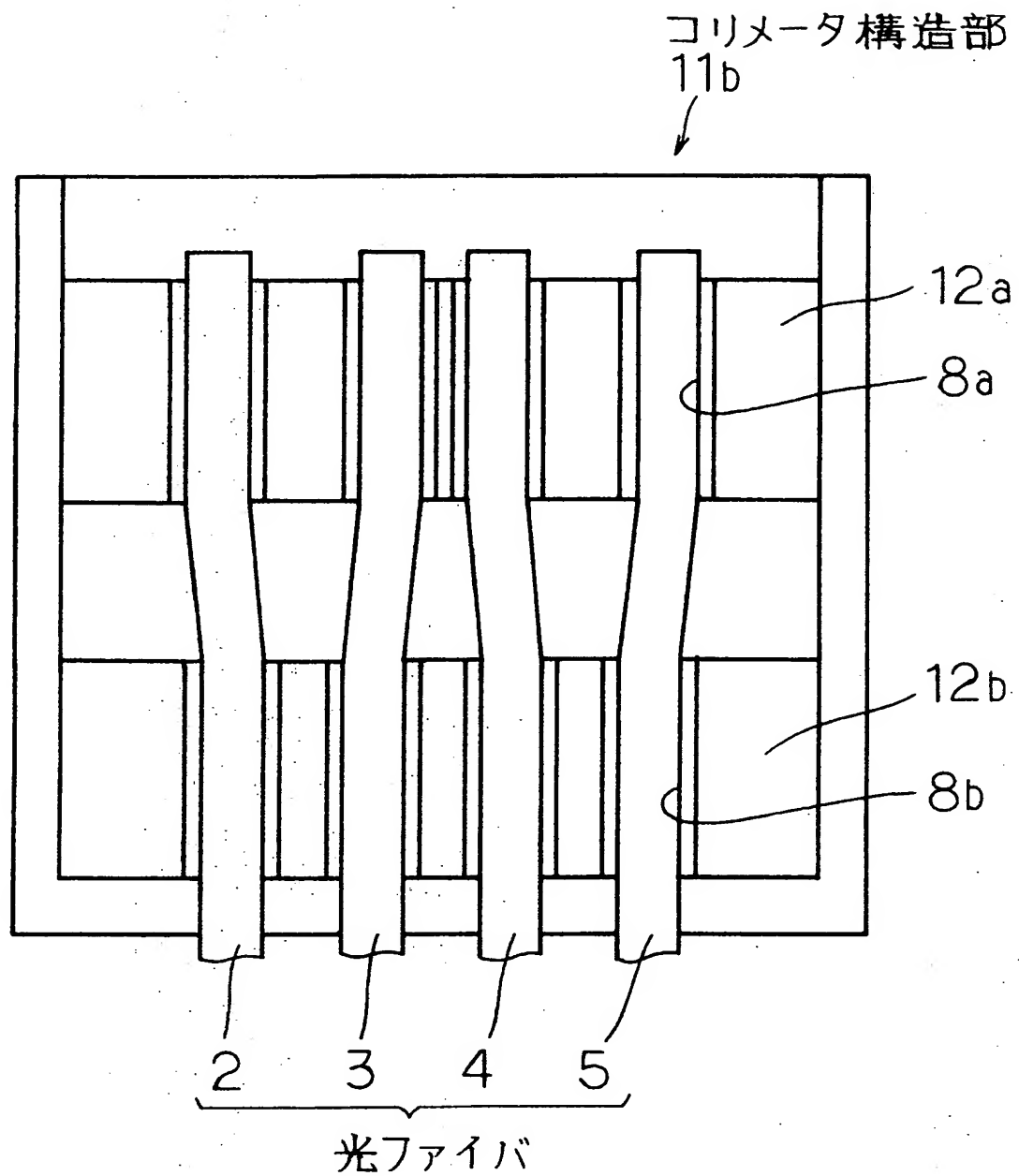
【図 4】



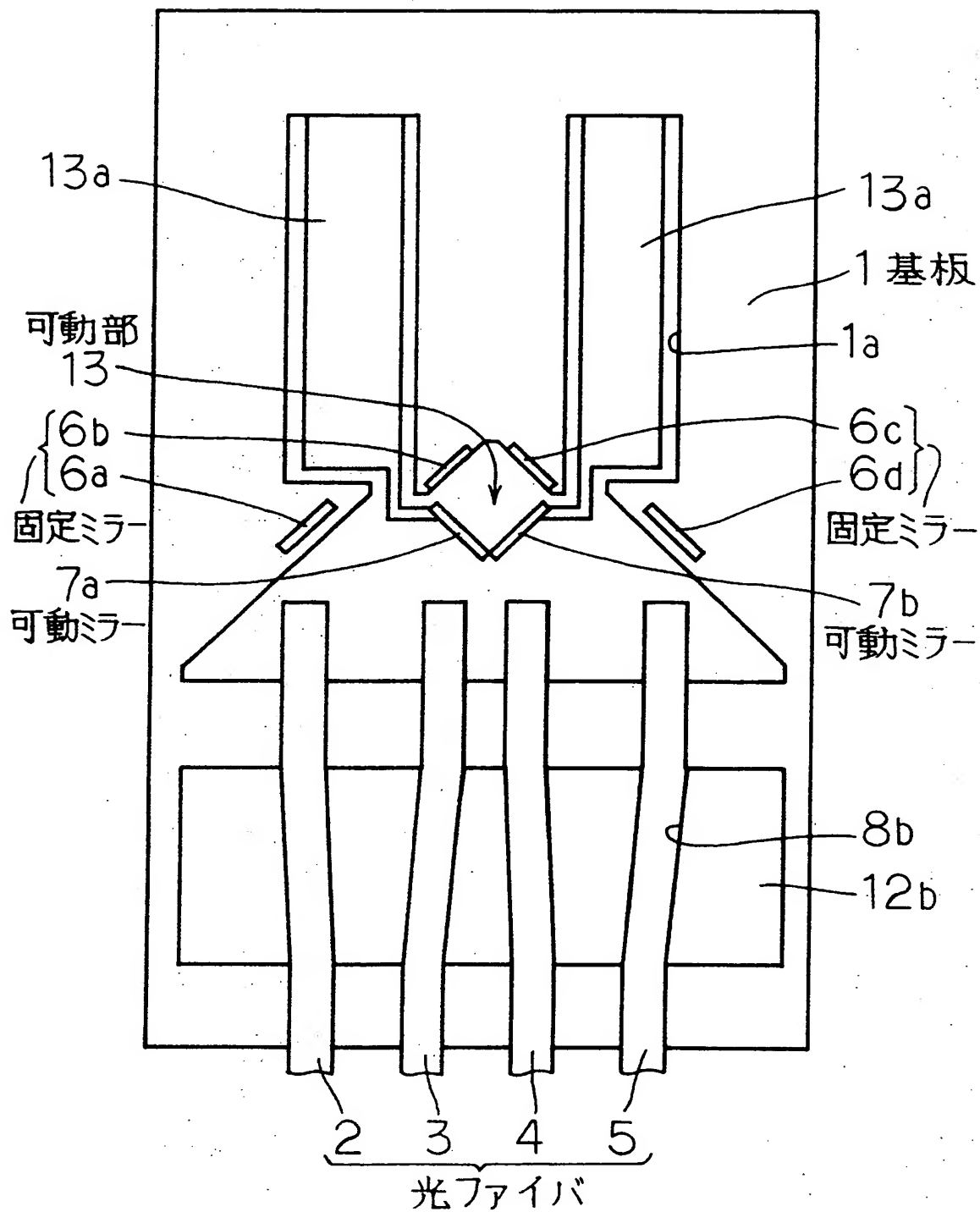
【図 5】



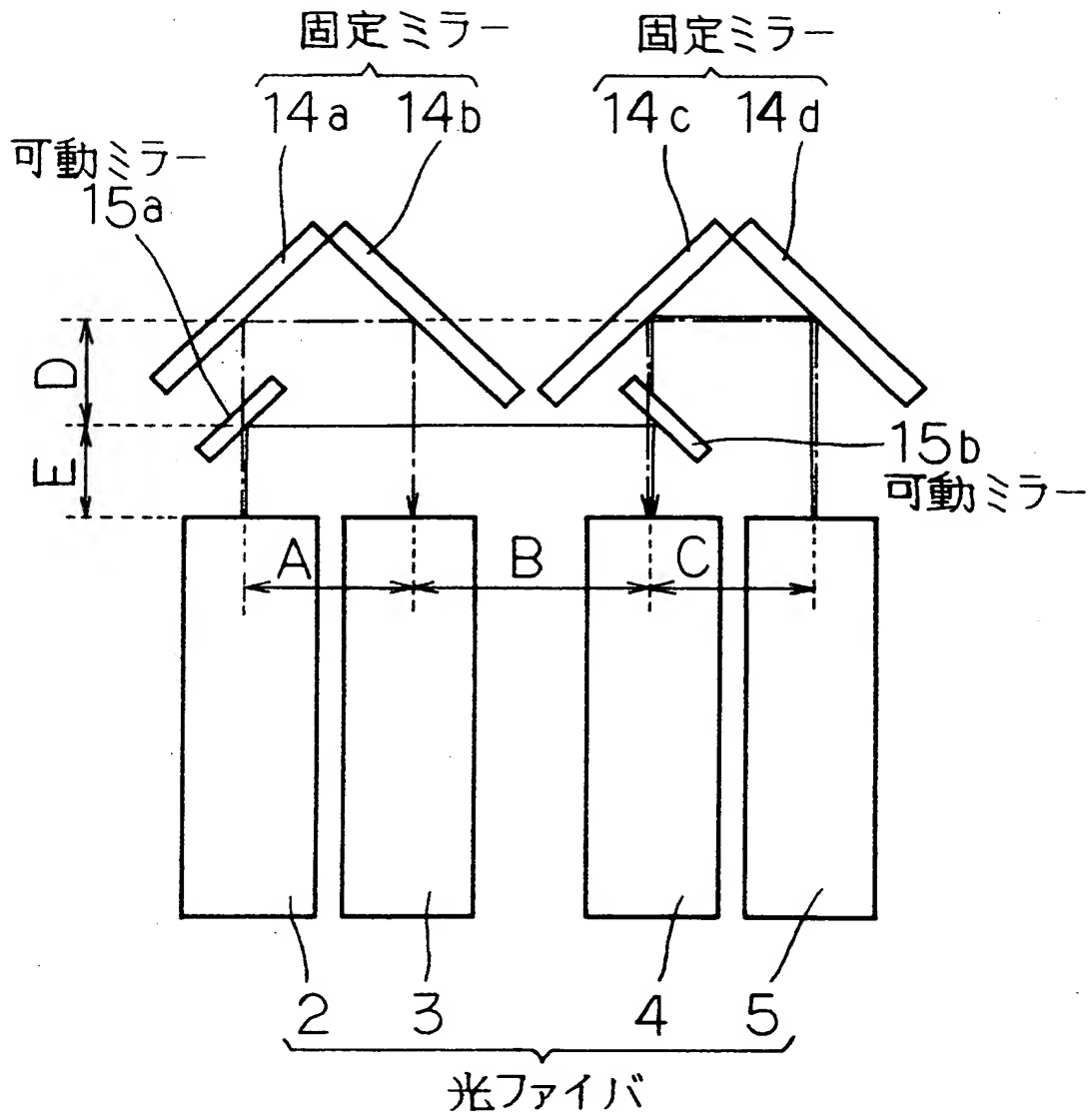
【図 6】



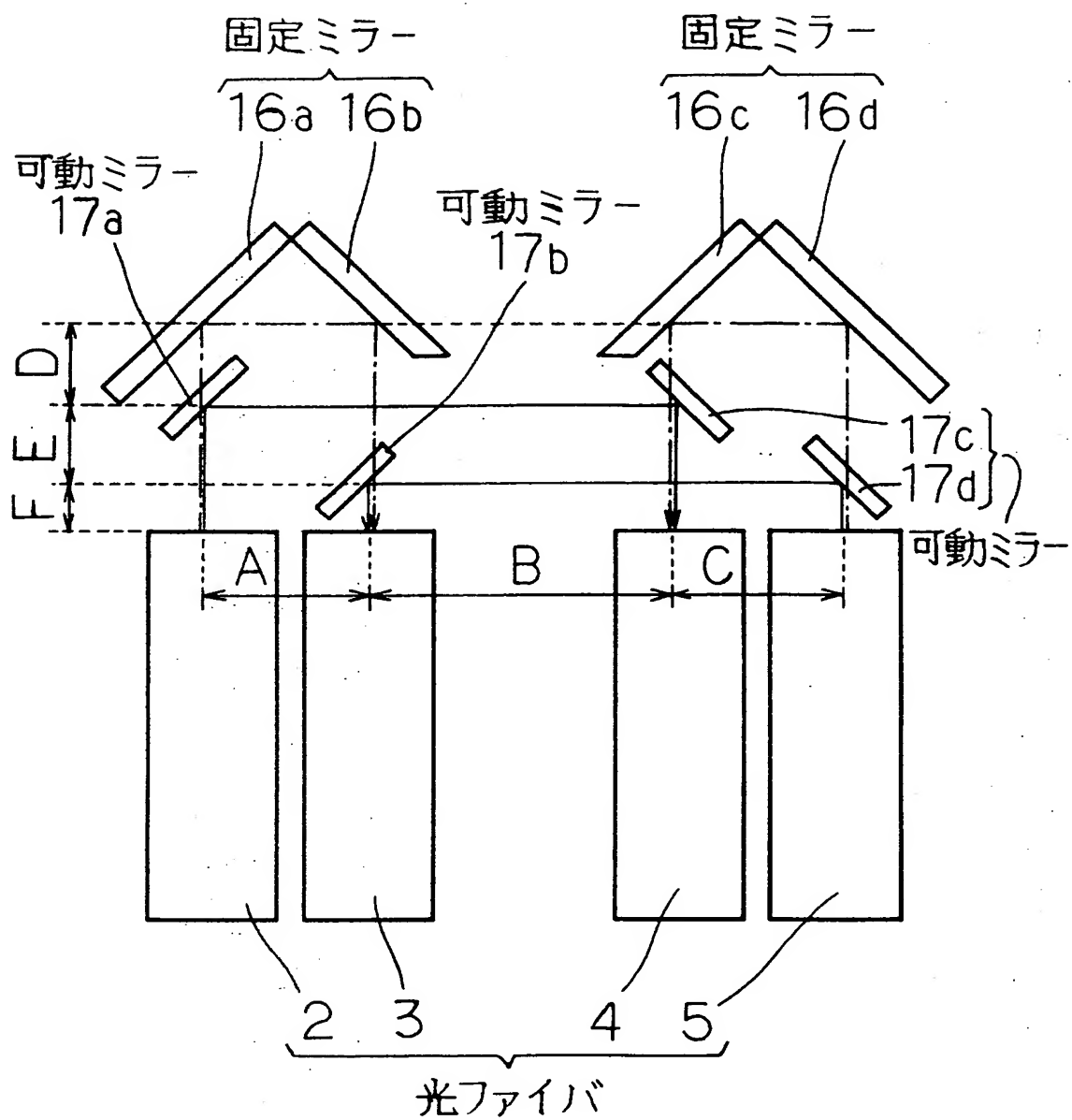
【図 7】



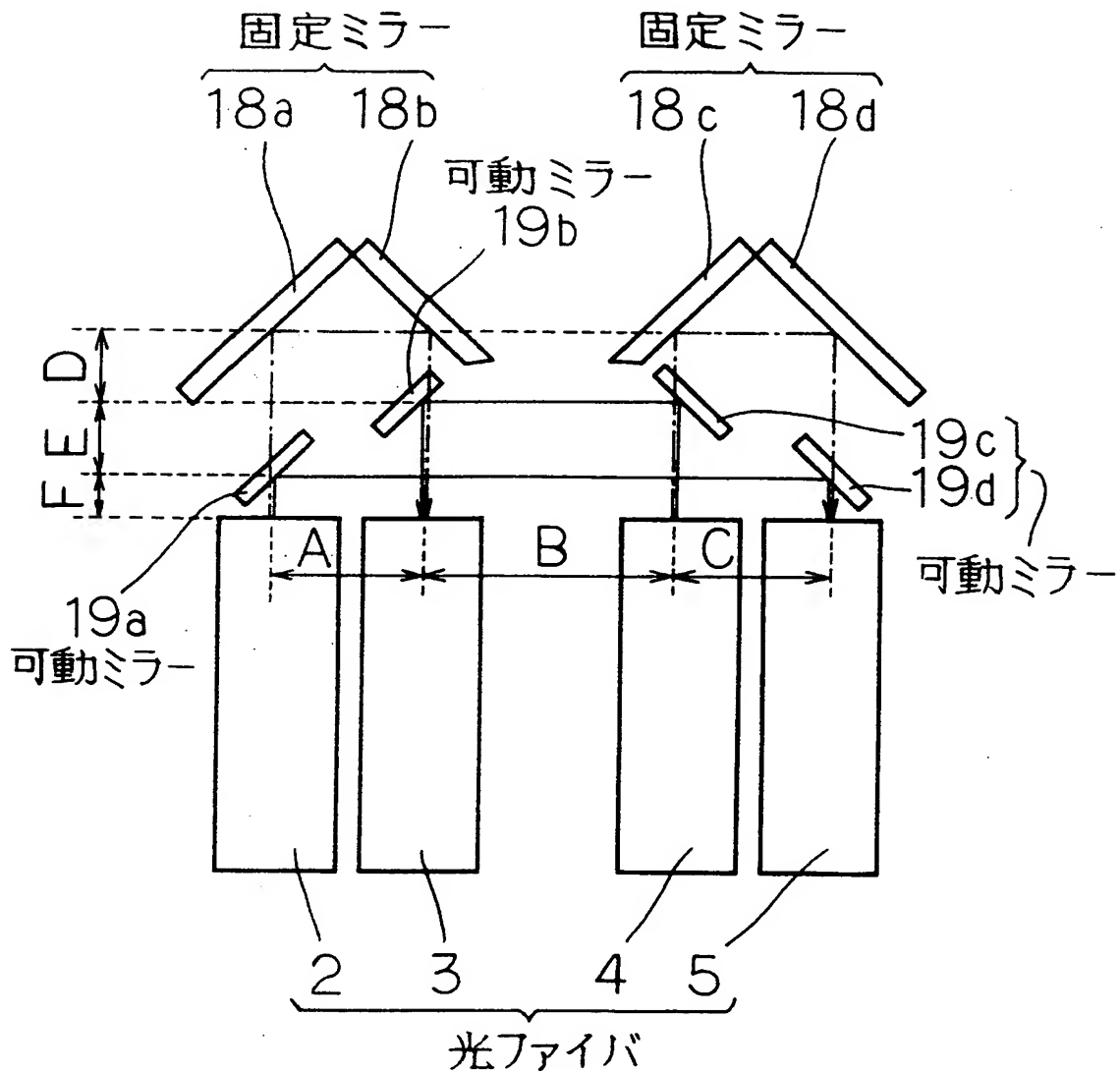
【図 8】



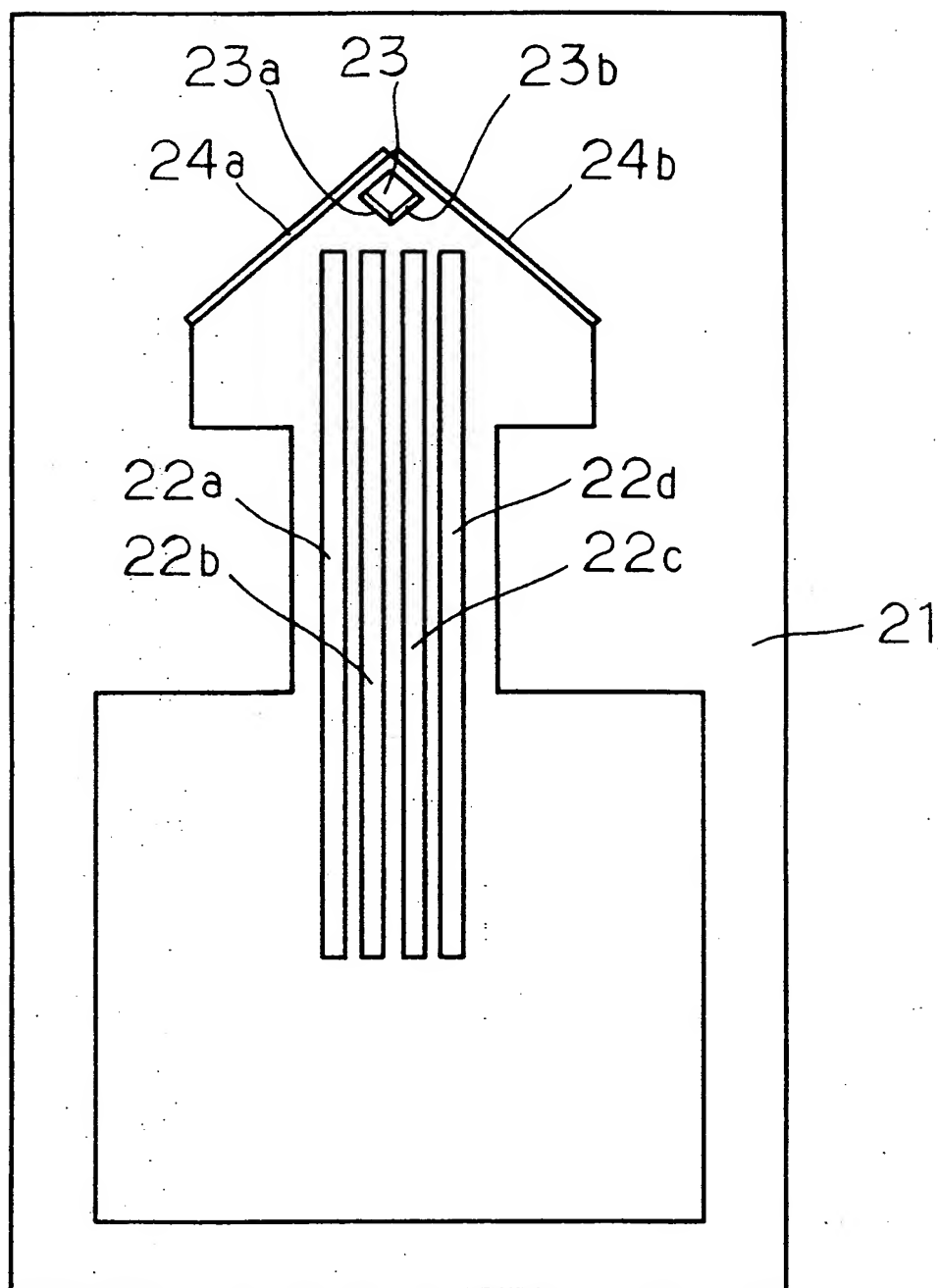
【図 9】



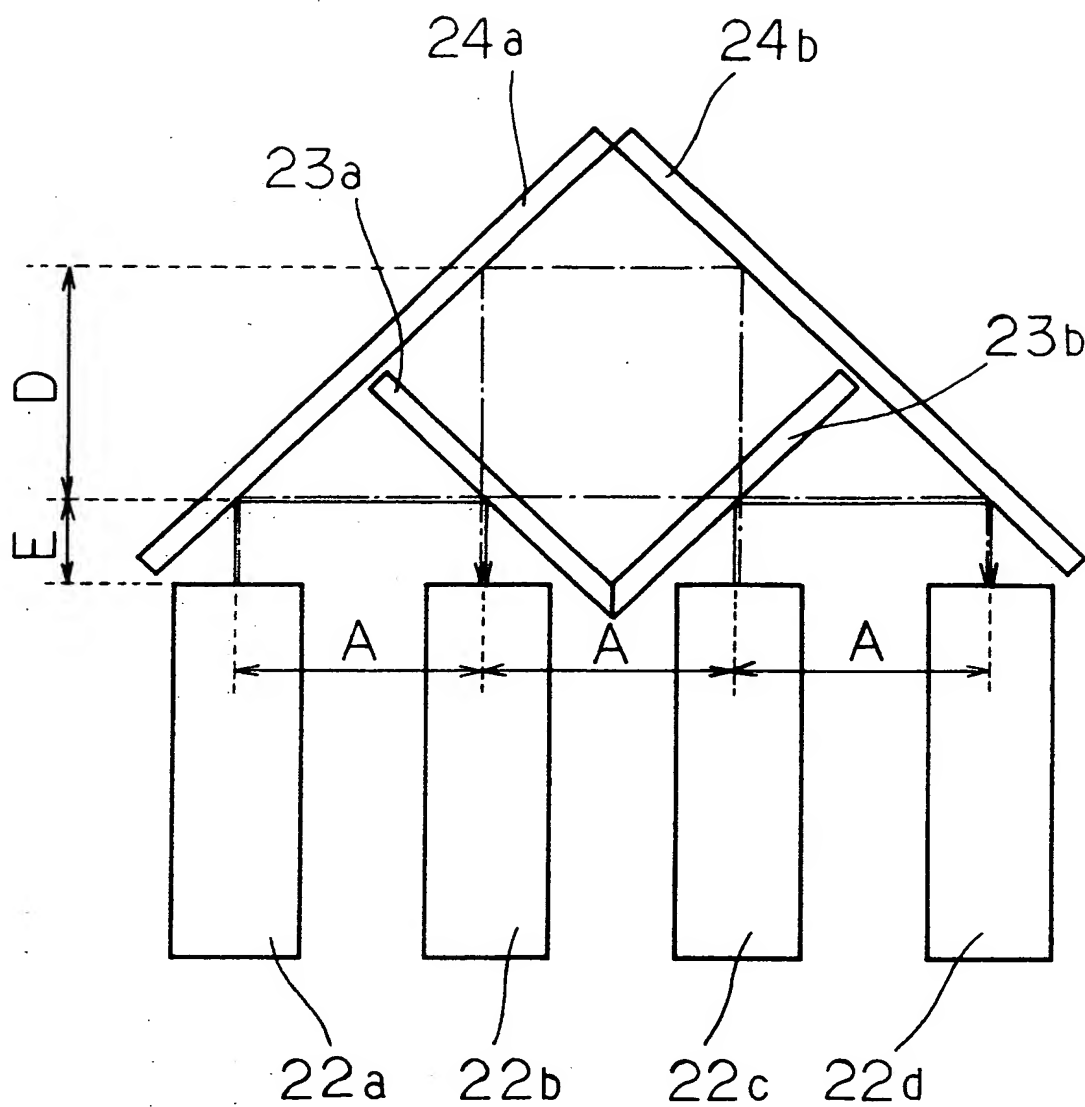
【図 10】



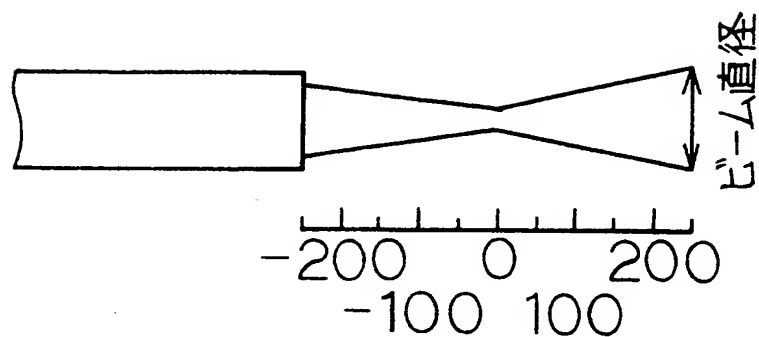
【図 11】



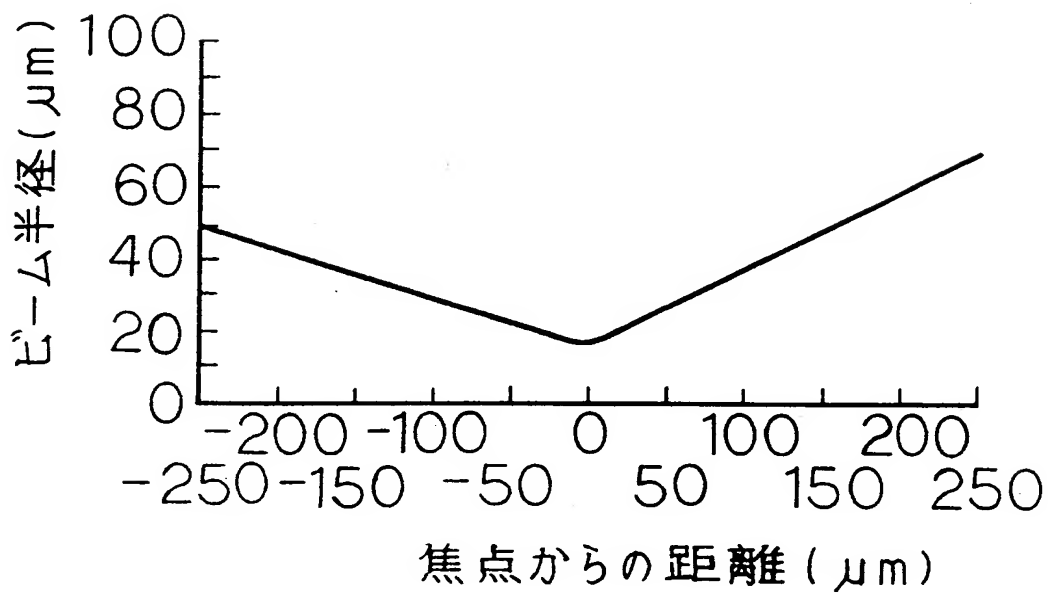
【図 12】



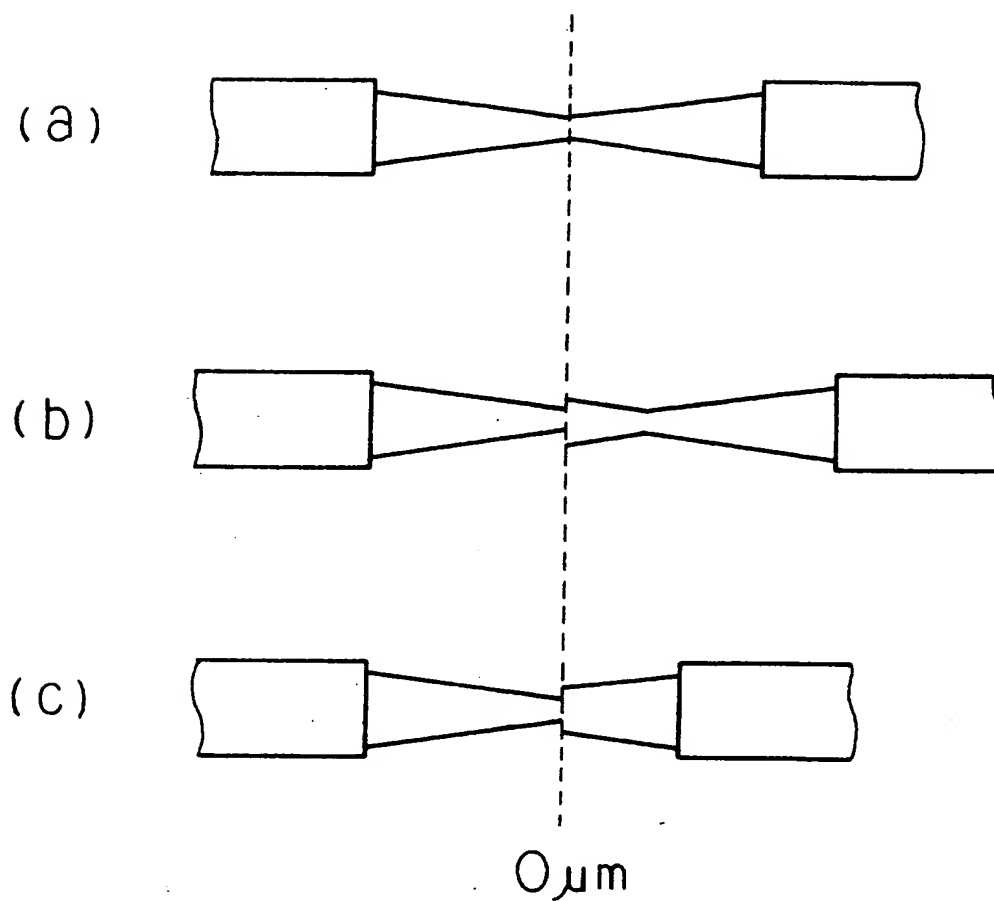
【図 13】



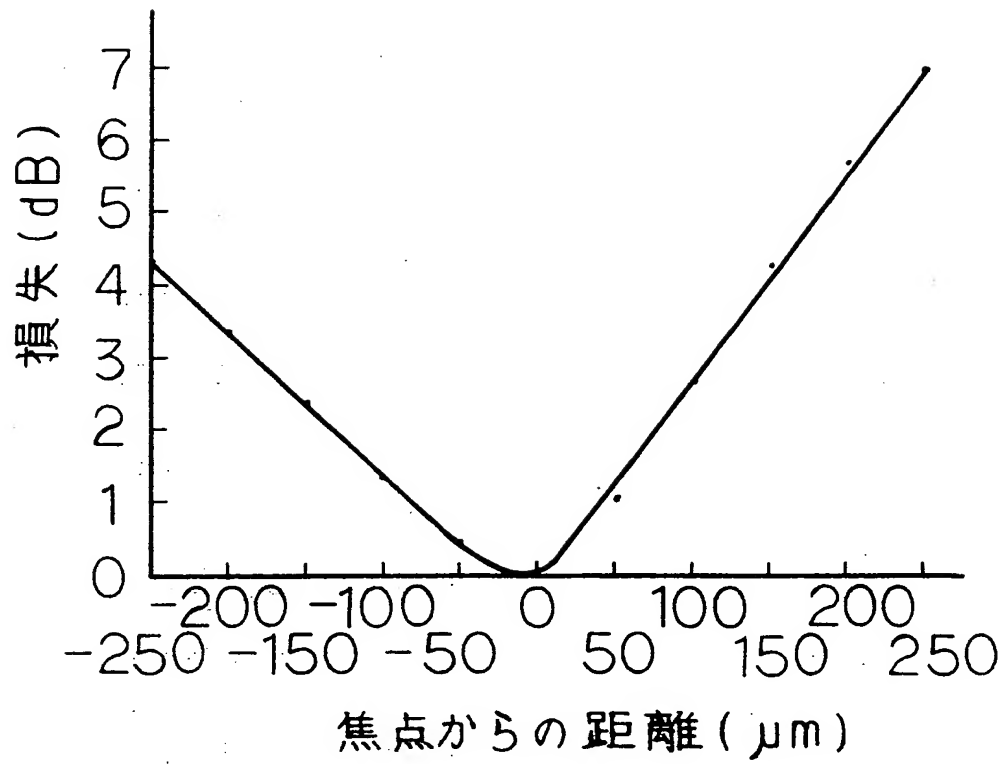
【図 14】



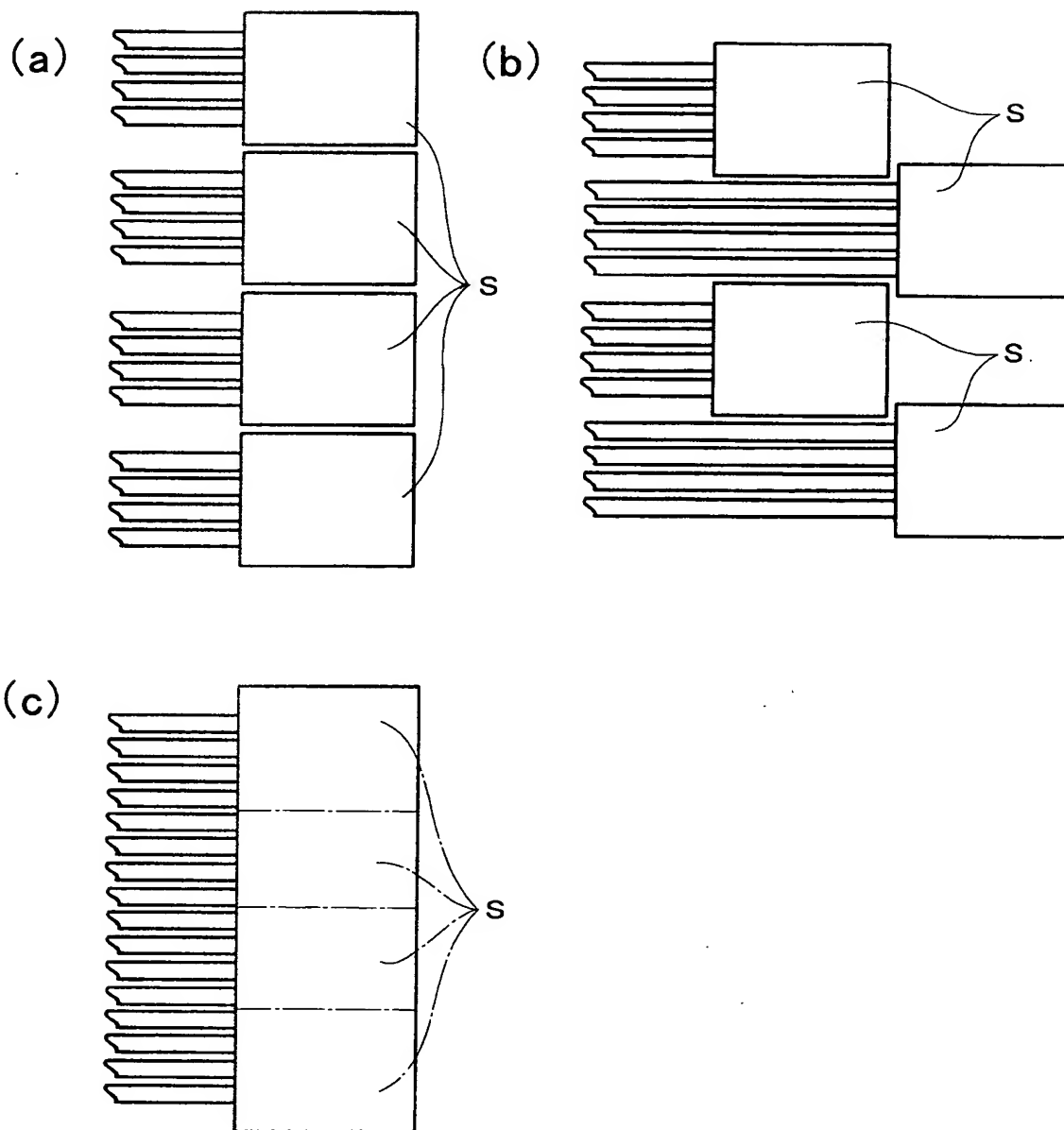
【図 15】



【図16】



【図 17】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 複数の光ファイバからなる光路のうち光通信上必要な光路の長さを等しくする。

【解決手段】 非等間隔で平行な光ファイバ 2 ～ 5 を ADD、OUT、IN、DROP と設定し、アド・ドロップ用途とする。光ファイバ 2 から固定ミラー 6 a と可動ミラー 7 a を介して光ファイバ 3 に至る光路長 $A + 2 E$ の ADD-OUT 光路と、光ファイバ 4 から可動ミラー 7 b と固定ミラー 6 d を介して光ファイバ 5 に至る光路長 $C + 2 E$ の IN-DROP 光路が形成される。可動ミラー 7 a, 7 b が退避すると、光ファイバ 2 から固定ミラー 6 a と 6 d を介して光ファイバ 5 に至る光路長 $A + B + C + 2 E$ の ADD-DROP 光路と、光ファイバ 4 から固定ミラー 6 c と 6 b を介して光ファイバ 3 に至る光路長 $B + 2 D + 2 E$ の IN-OUT 光路が形成される。 $A = C = B + 2 D$ として ADD-DROP 以外の 3 光路を同じ長さにする。

【選択図】 図 2

認定・付加情報

特許出願の番号 特願 2003-133011
受付番号 50300779163
書類名 特許願
担当官 小松 清 1905
作成日 平成15年 5月23日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】 000002325
【住所又は居所】 千葉県千葉市美浜区中瀬1丁目8番地
【氏名又は名称】 セイコーインスツルメンツ株式会社

【代理人】

申請人

【識別番号】 100123788
【住所又は居所】 東京都港区赤坂1丁目9番20号 第16興和ビル8階 わかば国際特許事務所
【氏名又は名称】 宮崎 昭夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100088328
【住所又は居所】 東京都港区赤坂1丁目9番20号 第16興和ビル8階
【氏名又は名称】 金田 暢之

【選任した代理人】

【識別番号】 100106297
【住所又は居所】 東京都港区赤坂1丁目9番20号 第16興和ビル8階 若林国際特許事務所
【氏名又は名称】 伊藤 克博

【選任した代理人】

【識別番号】 100106138
【住所又は居所】 東京都港区赤坂1丁目9番20号 第16興和ビル8階
【氏名又は名称】 石橋 政幸

次頁無

特願 2 0 0 3 - 1 3 3 0 1 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 2 3 2 5]

1. 変更年月日 1 9 9 7 年 7 月 2 3 日
[変更理由] 名称変更
住 所 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地
氏 名 セイコーインスツルメンツ株式会社
2. 変更年月日 2 0 0 4 年 9 月 1 0 日
[変更理由] 名称変更
住 所 千葉県千葉市美浜区中瀬 1 丁目 8 番地
氏 名 セイコーインスツル株式会社